



TUGAS AKHIR – RF-141501

## **APLIKASI DAN PEMODELAN SEISMIK INTERFEROMETRI**

NUR ROCHMAN MUHAMMAD  
NRP. 3713 100 012

Dosen Pembimbing :  
Wien Lestari S.T, MT  
NIP. 19811002 201212 2 003

Firman Syaifuddin, S.Si, MT  
NIP. 19840911 201404 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





TUGAS AKHIR – RF-141501

## **APLIKASI DAN PEMODELAN SEISMIK INTERFEROMETRI**

NUR ROCHMAN MUHAMMAD  
NRP. 3713 100 012

Dosen Pembimbing:  
Wien Lestari S.T, MT  
NIP. 19811002 201212 2 003

Firman Syaifuddin, S. Si, MT  
NIP. 19840911 201404 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



UNDERGRADUATE THESIS – RF-141501

**APPLICATION AND MODELLING OF  
SEISMIC INTERFEROMETRY**

NUR ROCHMAN MUHAMMAD

NRP. 3713 100 012

Supervisor:

Wien Lestari S.T, MT

NIP. 19811002 201212 2 003

Firman Syaifuddin, S. Si, MT

NIP. 19840911 201404 1 001

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Civil Engineering and Planning

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# APLIKASI DAN PEMODELAN SEISMİK INTERFEROMETRI

## TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Departemen Teknik Geofisika  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 21 Juli 2017

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I


Dosen Pembimbing II

  
Wien Lestari, S.T. M.T.  
NIP. 19811002 201212 2 003

  
Rurman Syarifuddin, S. Si, M.T  
NIP. 19760123 200003 1 001

  
Mengetahui

Kepala Laboratorium  
Petrofisika

  
Wien Lestari, S.T. M.T.  
NIP. 19811002 201212 2 003

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan “APLIKASI DAN PEMODELAN SEISMIC INTERFEROMETRI” adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 21 Juli 2017

Nur Rochman Muhammad  
NRP. 3713 100 012

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## APLIKASI DAN PEMODELAN SEISMIK INTERFEROMETRI

Nama : Nur Rochman Muhammad  
NRP : 3713 100 012  
Departemen : Teknik Geofisika  
Pembimbing : Wien Lestari S.T, MT  
Firman Syaifuddin S. Si, MT

### ABSTRAK

Seismik interferometri memanfaatkan *ambient noise* sebagai sumber informasi *sub-surface* dalam pengolahan data. Oleh karena itu seismik interferometri termasuk kedalam kategori seismik pasif karena tanpa menggunakan sumber buatan dalam akusisi data. Tahapan pemodelan dilakukan sebagai media pengujian atau validasi sintetik pengolahan seismik interferometri. Model yang digunakan berbeda antara pengolahan data seismik refleksi dengan seismik tomografi. Metoda *cross-correlation* digunakan untuk mendapatkan *Green's function* yang dikenal sebagai *virtual source*. Alat yang digunakan akusisi data lapangan adalah 24-*Recheiver geophone* dengan spasi 4 meter antar *recheiver*. Lama perekaman data lapangan adalah 99.99 detik dengan *sampling time* 4 milidetik. Pengambilan data seismik interferometri lapangan dengan kondisi *traffic noise* yang berbeda. Hal tersebut bertujuan untuk melihat perbedaan karakteristik dari dua *virtual-source* dengan kondisi *traffic noise* yang berbeda pada hasil dari pengolahannya. Hasil dari pengolahan seismik interferometri adalah penampang  $V_p$  dan penampang refleksi. Setelah dilakukan analisa kualitas *virtual-source* yang lebih baik didapatkan pada kondisi *low traffic* atau kondisi minim *noise* permukaan. Regresi logaritmik Penampang  $V_p$  seismik tomografi aktif dengan  $V_p$  seismik interferometri dilakukan untuk mempermudah interpretasi hasil seismik tomografi interferometri. Penampang yang telah didapatkan kemudian dilakukan interpretasi sederhana berdasarkan informasi geologi regional dimana daerah penelitian memiliki litologi Alluvium. Intepretasi seismik refleksi interferometri bawah permukaan area pengukuran didapatkan tiga reflektor pada kedalaman 150 m dengan tebal perlapisan antara 40-50 m. Tiga perlapisan didefinisikan dari intepretasi seismik tomografi interferometri yaitu *Top soil* dengan tebal 3 m – 8m, kemudian *Clay* kompaksi rendah 1.5 m – 2 m, kemudian lapisan terakhir adalah *Clay* kompaksi sedang-tinggi.

**Kata kunci:** seismik interferometri, validasi, *low traffic noise*, *Green's function*, interpretasi.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# APPLICATION AND MODELLING OF SEISMIC INTERFEROMETRY

Name : Nur Rochman Muhammad  
NRP : 3713 100 012  
Department : Teknik Geofisika  
Supervisor : Wien Lestari S.T, MT  
Firman Syaifuddin S. Si, MT

## ABSTRACT

Seismic interferometry utilises ambient noise as a source of sub-surface information in data processing. Therefore seismic interferometry belongs to the passive seismic category because without using artificial sources in data acquisition. The modelling stage is performed as a test medium or synthetic validation of seismic interferometry processing. The model used varies between seismic reflection data processing with tomographic seismic. The cross-correlation method is used to get Green's function known as the virtual source. The tool used for field data acquisition is 24-Recheiver geophone with a space of 4 meters between receiver. Duration of field data recording is 99.99 seconds with 4 millisecond sampling time. Segment retrieval of field interferometry data with different traffic noise conditions. It aims to look at the different characteristics of two virtual-sources with different traffic noise conditions on the results of the processing. The result of interferometric seismic processing is the cross section of Vp and the reflection cross section. After analysing the quality of virtual-source is better found in low traffic conditions or minimal surface noise conditions. Logarithmic regression A cross section of active tomographic seismic Vp with interferometric seismic Vp is performed to facilitate interpretation of interferometric tomographic seismic results. The obtained cross section is then made the simple interpretation based on regional geological information where the research area has Alluvium lithology. Interpretometric reflection seismic reflections beneath the surface of the measurement area obtained three reflectors at a depth of 150 m with a thick layer between 40-50 m. Three layers were defined from interferometric tomography seismic interpretation ie Top soil with 3 m - 8m thick, then Clay compact low 1.5 m - 2 m, then the last layer was medium - high Clay compaction.

**Keywords:** seismic interferometry, validation, low traffic noise, *Green's function*, interpretation.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah S.W.T. karena atas rahmat dan karunia-Nya laporan Tugas Akhir : **“APLIKASI DAN PEMODELAN SEISMIC INTERFEROMETRI”** dapat terselesaikan dengan lancar.

Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu, Ayah serta semua keluarga atas do'a-nya selama saya menjalani Tugas Akhir ini.
2. Dosen pembimbing yang telah mencurahkan semua pikiran dalam Tugas Akhir ini.
3. Seluruh staf pengajar dan tenaga kependidikan Departemen Teknik Geofisika.
4. Tim Akuisisi yang telah membantu penelitian Tugas Akhir ini.
5. Semua mahasiswa Teknik Geofisika yang selalu mendukung dari mulai dukungan fisik hingga dukungan moral.
6. Semua pihak yang telah membantu dari mana saja dan tidak dapat disebutkan penulis satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan di dalam laporan Tugas Akhir ini. Karenanya, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai pembelajaran bagi penulis untuk lebih baik lagi. Akhir kata, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 21 Juli 2017

Penulis

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT .....	xi
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xx
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan M asalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan Laporan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Seismik Interferometri.....	5
2.2 Penelitian Seismik Interferometri Terdahulu.....	6
2.3 1D Interferometri Gelombang Langsung .....	9
2.4 Refleksi dan Refraksi .....	13
2.5 Sumber Gelombang Digunakan (berasal dari noise) .....	13
2.6 Kecepatan Gelombang Seismik pada Batuan di Lokasi Penelitian .	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Lokasi Penelitian .....	17
3.2 Peralatan dan Data.....	19
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	21
3.4 Diagram Alir Perhitungan Virtual Source .....	22
3.5 Persiapan Pengolahan Data Seismik Interferometri Lapangan.....	23
3.5.1 Raw Data Seismik Interferometri .....	23
3.5.2 Virtual Source Data Lapangan.....	25
3.6 Diagram Alir Pengolahan Seismik Refleksi .....	28
3.7 Diagram Alir Pengolahan Seismik Tomografi .....	29
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Forward Modelling dan Pengolahan Data Sintetik Seismik Interferometri Tomografi.....	31
4.1.1 Model Seismik Interferometri (Tomografi) .....	32
4.1.2 Pengolahan Data Seismik Interferometri Tomografi Sintetik.....	34
4.2 Forward Modelling dan Pengolahan Data Sintetik Seismik Interferometri Refleksi .....	36

4.2.1 Model Seismik Interferometri (Refleksi) .....	36
4.2.2 Pengolahan Data Seismik Interferometri (Refleksi) .....	39
4.3 Pengaruh Traffic Noise (noise permukaan) Terhadap Virtual Source .....	45
4.4 Tomografi Seismik Interferometri Data Lapangan .....	48
4.4.1 Hasil Inversi Tomografi Seismik Interferometri (Taman Alumni ITS dan Forensik ITS).....	48
4.4.2 Penampang Vp Dari Regresi Logaritmik Aktif- Interferometri. ....	49
4.4.3 Interpretasi Penampang Vp .....	52
4.5 Interpretasi Penampang Seismik Refleksi Interferometri Data Lapangan.....	54
4.6 Penampang Autokorelasi Seismik Interferometri .....	58
BAB V PENUTUP .....	61
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	61
DAFTAR PUSTAKA .....	63
LAMPIRAN .....	65
BIODATA PENULIS .....	71

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Virtual source pada 0 m dengan lama perekaman noise (a) 70 detik, (b) 1 jam, (c) 4 jam, dan (d) 10 jam.....	6
Gambar 2.2	Perubahan antara penampang zero-offset virtual source sebelum injeksi uap (September 2002) dan setelah injeksi uap (Desember 2002) a), batas atas reservoir (b), unconformity (c). perubahan yang signifikan terletak di reservoir bawah. ....	7
Gambar 2.3	Picking phase velocity(kiri) dan hasil inversi MASW dari virtual source (kanan).....	7
Gambar 2.4	Power spectral tiap geophone yang terletak diatas rongga bawah tanah.....	8
Gambar 2.5	(a) Model (b) Hasil cross correlation. ....	9
Gambar 2.6	a) Ilustrasikan posisi sumber yang merambat kekanan. b) dan c) adalah waktu tempuh dari sumber $x_s$ pada masing-masing penerima. d) Respon cross-correlation antara impuls $x_A$ dan $x_B$ .....	9
Gambar 2.7	Dengan sumber dari kanan ke kiri, cross-correlation d) diinterpretasikan sebagai time reversed Green's function .....	11
Gambar 2.8	Ilustrasi jika sumber berasal dari kiri dan kanan penerima. ....	11
Gambar 2.9	Ambient noise dilakukan secara bersamaan dari kanan dan kiri. ....	12
Gambar 2.10	Ilustrasi fenomena refleksi (a) dan refraksi (b). ....	13
Gambar 2.11	Ilustrasi virtual source (a) ray tracing sumber tidak diketahui (b) ray tracing setelah cross-correlation tiap trace.....	14
Gambar 2.12	Rentang nilai $V_p$ dan rippabilities pada udara,air,es,dan batuan.. ....	15
Gambar 3.1	Lokasi akuisisi kondisi ramai(29/03/2017). ....	17
Gambar 3.2	Lokasi akuisisi kondisi senyap (21/04/2017) .....	18
Gambar 3.3	Diagram alir penelitian.....	21
Gambar 3.4	Diagram alir pembuatan virtual source dengan metoda cross-correlation. ....	22
Gambar 3.5	Raw Data Interferometri.....	23
Gambar 3.6	Raw Data Taman Alumni ITS setelah kill trace. ....	24
Gambar 3.7	Raw Data Interferometri.....	24
Gambar 3.8	Raw Data Forensik ITS setelah normalisasi dan Band Pass (5,10,15,20). ....	25
Gambar 3.9	Spektrum frekwensi (Taman Alumni ITS).....	25
Gambar 3.10	Spektrum frekwensi (Forensik ITS). ....	25
Gambar 3.11	Virtual Source (a) Geophone 1, (b) Geophone 13,dan (c) Geophone 24 (Taman Alumni ITS).....	26

Gambar 3.12	Virtual Source (a) Geophone 1, (b) Geophone 13, dan (c) Geophone 24 (Forensik ITS). ....	27
Gambar 3.13	Diagram Alir Pengolahan Seismik Refleksi. ....	28
Gambar 3.14	Diagram Alir Pengolahan Seismik Tomografi. ....	29
Gambar 4.1	Model sintetik seismik tomografi interferometri beserta distribusi source. ....	32
Gambar 4.2	Raw Record Synthetic Data (model seismik tomografi). ....	33
Gambar 4.3	Spektrum frekwensi data sintetik (tomografi). ....	33
Gambar 4.4	Geometri virtual source gather. ....	34
Gambar 4.5	Virtual source pada (a) Geophone 1, (b) Geophone 26, dan (c) Geophone 51. ....	34
Gambar 4.6	Hodogram (model sintetik). ....	35
Gambar 4.7	Penampang Vp hasil inversi data sintetik. ....	35
Gambar 4.8	Model Seismik Refleksi Interferometri modifikasi dari. ....	37
Gambar 4.9	Raw Record Synthetic Data model seismik interferometri (refleksi). ....	38
Gambar 4.10	Spektrum frekwensi data sintetik (refleksi). ....	38
Gambar 4.11	Virtual source pada (a) Geophone 1, (b) Geophone 51, dan (c) Geophone 101. ....	39
Gambar 4.12	Stacking chart dari survey sintetik. ....	40
Gambar 4.13	CMP Fold (data sintetik). ....	40
Gambar 4.14	(a) Sebelum, dan (b) sesudah DMO. ....	41
Gambar 4.15	(a) Contoh picking velocity-analysis, (b) Sebelum koreksi NMO, dan (c) setelah koreksi NMO (pada data sintetik). ....	41
Gambar 4.16	Vrms hasil picking pada velocity-analysis (data sintetik). ....	42
Gambar 4.17	Hasil stacking tiap CMP (data sintetik). ....	42
Gambar 4.18	Kirchhoff migration (data sintetik). ....	43
Gambar 4.19	Hasil FK Migration (data sintetik). ....	43
Gambar 4.20	Velocity domain depth (data sintetik). ....	44
Gambar 4.21	Hasil akhir processing (data sintetik). ....	44
Gambar 4.22	Perbandingan virtual source Forensik ITS yang didapat pada kondisi noise yang berbeda.(a) Pada kondisi low traffic noise (data ke-3), (b) Pada kondisi high traffic noise (data ke-1). (c) Selisih antara penampang (a) dan (b). ....	47
Gambar 4.23	Geometri virtual source yang digunakan dalam picking surface wave. ....	48
Gambar 4.24	Penampang Vp hasil inversi (data Taman Alumni ITS). ....	48
Gambar 4.25	Penampang Vp hasil inversi (data Forensik ITS). ....	49
Gambar 4.26	Geometri survey seismik aktif (Forensik ITS). ....	50
Gambar 4.27	Raw Data Record seismik aktif (Forensik ITS). ....	50
Gambar 4.28	Penampang Vp hasil inversi (data seismik aktif Forensik ITS). ..	50

Gambar 4.29	Cross plot dan regresi logaritmik nilai $V_p$ aktif - $V_p$ interferometri.....	51
Gambar 4.30	(a)Penampang $V_p$ Forensik ITS (aktif) ,(b)Forensik ITS (interferometri) hasil Regresi Logaritmik, dan (c)Taman Alumni ITS (interferometri) hasil Regresi Logaritmik. ....	52
Gambar 4.31	Interpretasi Rentang Nilai $V_p$ .....	53
Gambar 4.32	Model hasil interpretasi penampang $V_p$ (a) (Interferometri) Taman Alumni ITS, (b) (Interferometri) Forensik ITS, (c) (Aktif) Forensik ITS.....	54
Gambar 4.33	Desain Band Pass Filter (a) Taman Alumni ITS dan (b) Forensik ITS.....	55
Gambar 4.34	Interpretasi penampang seismik refleksi Forensik ITS (Aktif). .	56
Gambar 4.35	Interpretasi penampang seismik refleksi interferometri Forensik ITS.....	56
Gambar 4.36	Interpretasi penampang seismik refleksi interferometri Taman Alumni ITS.....	57
Gambar 4.37	(a) Kirchhoff Migration, (b) Autocorrelation. ....	58
Gambar 4.38	(a) Penampang Autokorelasi dan (b) Deliniasi bidang pantul Data Sintetik.....	58
Gambar 4.39	(a) Penampang Autokorelasi, dan (b) Deliniasi bidang pantul Data Taman Alumni ITS. ....	59
Gambar 4.40	(a) Penampang Autokorelasi, dan (b) Deliniasi bidang pantul Data Forensik ITS. ....	59

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Koordinat Lintasan Akuisisi Seismik (49S-UTM). .....	18
Tabel 3.2 Peralatan yang digunakan dalam penelitian. ....	19
Tabel 3.3 Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) yang digunakan dalam penelitian. ....	19
Tabel 3.4 <i>Raw data</i> yang digunakan dalam penelitian. ....	20
Tabel 4.1 Parameter pemodelan seismik interferometri (tomografi). ....	32
Tabel 4.2 Parameter inversi data sintetik.....	35
Tabel 4.3 Parameter pemodelan seismik interferometri (refleksi). ....	37
Tabel 4.4 Kondisi saat perekaman seismik(Forensik ITS) .....	45
Tabel 4.5 Parameter Inversi (Interferometri Taman Alumni ITS). ....	49
Tabel 4.6 Parameter Inversi (Interferometri Forensik ITS). ....	49
Tabel 4.7 Parameter Inversi (Aktif seismik Forensik ITS). ....	51

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Akuisisi data seismik dibedakan menjadi dua variasi berdasarkan sumbernya yaitu seismik aktif dan seismik pasif. Seismik aktif menggunakan sumber buatan yang diketahui lokasi dari sumber tersebut. Seismik pasif menggunakan sumber dari ambient *noise* (sumber yang tidak diketahui letak pastinya) yang kemudian direkam untuk mengkarakteristik batuan dibawah permukaan tanah. Metoda seismik pasif sering digunakan untuk menggambarkan bawah permukaan pada *urban area* karena sifatnya yang tidak menggunakan sumber buatan.

Lebih dari satu abad, ilmuan dan teknisi telah menggunakan interferensi dari gelombang cahaya untuk mengamati properti optik dari objek. (Lauterborn, 1993). Seismik interferometri termasuk kategori seismik pasif yang menggunakan prinsip tersebut dengan memanfaatkan interferensi dari gelombang bentukan sumber berasal dari *noise*. Metode tersebut mengubah ambient *noise* sebagai sinyal. Sedangkan pada umumnya *noise* dieliminasi pada metoda seismik aktif. *Cross-correlation* tiap *trace* dilakukan untuk menghasilkan *Virtual-source* yaitu merupakan rekonstruksi dari *Green's function* (pola bentukan gelombang seismik) (N. Nakata, et al. 2011).

Sebelum mengaplikasikan suatu metoda pada data lapangan diperlukan uji coba pada pengolahan data sintetik untuk mengetahui validasi dari suatu metoda, begitu pula pada seismik interferometri. Kualitas penampang hasil seismik interferometri dapat diketahui dalam penelitian ini dengan melakukan analisis perbandingan terhadap model sintetik dengan model hasil pengolahan. Hal tersebut yang mendasari penelitian Tugas Akhir ini untuk melakukan analisis tomografi seismik interferometri dan seismik refleksi interferometri pada data sintetik. Kemudian dapat dilakukan pengolahan dengan cara yang sama pada data lapangan dikarenakan sudah diketahui karakteristik metoda tersebut dalam menggambarkan bawah permukaan berdasarkan perbandingan model dengan hasil pengolahan.

Terdapat faktor kondisi lapangan yang berpengaruh pada akuisisi data seismik interferometri salah satunya adalah intensitas *noise* permukaan (*traffic noise*). Hal tersebut berpengaruh terhadap kualitas dari *virtual source* yang didapat. Oleh karena itu salah satu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan kualitas tersebut dengan membandingkan *virtual source* pada data lapangan dengan kondisi *noise* permukaan yang berbeda *high traffic noise* dan *low traffic noise* ditinjau dari kemenerusan gelombang terekonstruksi. Tentunya hal yang berpengaruh pada *virtual source* akan

berdampak juga pada hasil akhir dari pengolahan, baik seismik tomografi interferometri maupun seismik refleksi interferometri.

Lokasi pengambilan data yang dipilih adalah di dalam lingkungan kampus ITS dengan memilih dua tempat yang berbeda dengan waktu pengambilan data pada kondisi *traffic noise* yang berbeda. Lokasi pertama adalah di Taman Alumni ITS kemudian lokasi kedua berada di jalur hijau dekat dengan Forensik ITS pada penelitian ini dinamakan “Forensik ITS”. Masing-masing lintasan memiliki panjang bentangan yang sama yaitu 92 meter. Lokasi penelitian ini jika ditinjau secara regional terletak pada litologi Alluvium (Supandjono, et al. 1992). Akuisisi data seismik interferometri pada penelitian Tugas Akhir ini terbatas pada instrument yang digunakan yaitu “Geosam” 24-*Recheiver geophone* dan spasi maksimal antar *geophone* sejauh 4 meter. Tentunya dalam penelitian ini digunakan bentangan maksimum yaitu 4 meter untuk mendapatkan *offset* maksimum dalam pengolahan tomografi seismik interferometri.

Hasil dari inversi tomografi adalah penampang  $V_p$ . Penampang  $V_p$  hasil seismik interferometri kemungkinan memiliki rentang nilai yang berbeda dari penampang  $V_p$  seismik aktif. Sehingga pada interpretasi penampang  $V_p$  seismik interferometri tidak dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan tabel nilai parameter  $V_p$  yang umumnya di gunakan pada seismik aktif. Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan analisis statistik antara nilai  $V_p$  seismik aktif dengan nilai  $V_p$  seismik interferometri. Pada penelitian Tugas Akhir ini juga dilakukan analisis statistik untuk mempermudah interpretasi penampang  $V_p$  seismik interferometri.

Pengolahan data seismik refleksi dilakukan dengan hanya menggunakan *raw data record* tanpa menggunakan data *check shot* untuk kalibrasi domain *depth*, atau dengan kata lain tidak dapat melakukan pengolahan hingga *PSDM* (*Post Stack Depth Migration*). Pengolahan dilakukan hingga penampang *PSTM* (*Post Stack Time Migration*) saja kemudian diubah ke dalam *depth* dengan *velocity* yang didapat saat *velocity analysis*. Interpretasi seismik refleksi interferometri dibantu dengan penampang *velocity* yang digunakan untuk *PSTM* yang dikaitkan dengan jenis batuan pada tabel nilai  $V_p$ .

Dari penelitian ini diharapkan aplikasi yang lebih luas dari metoda seismik interferometri dalam studi kasus geologi. Dimana studi kasus tersebut membutuhkan gambaran bawah permukaan dengan metoda pasif (non destruktif).

## 1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dihadapi adalah:

1. Bagaimana perbandingan penampang hasil pengolahan data sintetik interferometri dengan model awal?
2. Bagaimana pengaruh intensitas *traffic noise* terhadap *virtual source*?
3. Bagaimana interpretasi penampang seismik refleksi interferometri dan  $V_p$  seismik interferometri pada data lapangan (berdasarkan analisis statistik)?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Akuisisi data seismik pasif menggunakan *geophone 24-channel* dengan batasan yaitu durasi perekaman maksimal 99.99 detik dan spasi *geophone* maksimal 4 meter.
2. Lokasi akuisisi dilakukan didalam lingkungan kampus ITS dan tidak terpaku pada studi kasus geologi tertentu.
3. Pengolahan seismik refleksi hingga *PSTM* dan inversi tomografi seismik dalam penampang  $V_p$ .

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perbandingan hasil dari pengolahan data seismik interferometri sintetik dengan model awal yang dibuat.
2. Mengetahui pengaruh intensitas *traffic noise* tinggi dan intensitas rendah terhadap kualitas *virtual source*.
3. Interpretasi penampang seismik refleksi dan tomografi seismik interferometri pada data lapangan (penampang  $V_p$  berdasarkan hasil perhitungan statistik).

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan didapatkan dari pelaksanaan penelitian ini adalah:

1. Memberi pengetahuan *timing* pengambilan data seismik interferometri terhadap pengaruh *noise* permukaan (*traffic noise*).
2. Teknik pengolahan data seismik interferometri yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat digunakan pada studi kasus geologi untuk menggambarkan bawah permukaan.

## **1.6 Sistematika Penulisan Laporan**

Berikut ini adalah penjelasan tiap BAB dari laporan Tugas Akhir:

- BAB I      Pendahuluan: berisi latar belakang, perumusan masalah beserta batasan masalah, tujuan dan manfaat dalam penelitian yang telah dilakukan.
- BAB II      Tinjauan Pustaka: berisi tentang teori interferometri dan informasi geologi yang dibutuhkan dalam penelitian.
- BAB III      Metode Penelitian: Berisi diagram alir teknik pengerjaan, peralatan yang dibutuhkan dan lokasi akuisisi data.
- BAB IV      Hasil dan Pembahasan: Berisi tentang hasil dari pengolahan data dan pembahasannya meliputi interpretasi dari hasil yang didapatkan.
- BAB V      Penutup: Terdiri dari kesimpulan dan saran setelah penelitian terselesaikan.

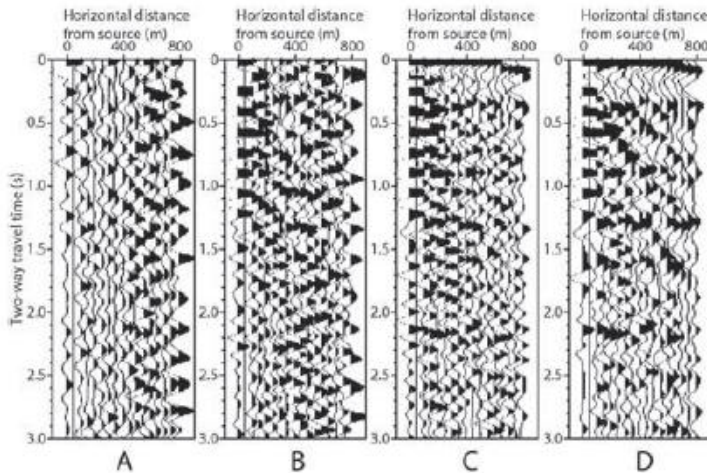
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Seismik Interferometri

J.F. Claerbout meneliti hubungan antara respon dari transmisi dan refleksi pada lapisan horisontal (Claerbout 1968). Pada penelitiannya menunjukkan bahwa autokorelasi dari respon transmisi sama dengan respon refleksi ditambah dengan *time reversed* sebelum  $t=0$ . Kemudian dia menduga bahwa hubungan tersebut dapat digunakan pada medium 3D *inhomogeneous*. *Cross-correlation* antar trace dari dua penerima dipisahkan oleh *offset* dapat merekonstruksi medan gelombang dimana satu dari penerima menjadi sumber pada penerima lain. Schuster mengaplikasikan metoda korelasi pada eksplorasi seismik pasif dan aktif (Schuster 2001). Beliau memperkenalkan *interferometric-imaging* dengan teori berdasarkan analisis *stationary-phase* memanfaatkan *cross-correlation* dan *migration*. Secara garis besar seismik interferometri adalah metoda seismik pasif dengan cara merekonstruksi bentukan gelombang (*Green's function*) untuk memperoleh informasi bawah permukaan.

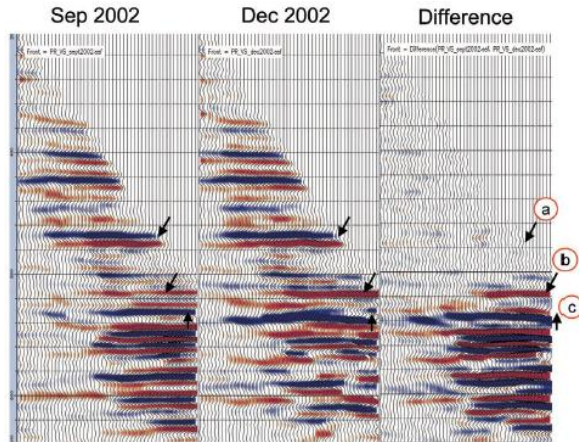
## 2.2 Penelitian Seismik Interferometri Terdahulu

Beberapa peneliti telah mencoba penggunaan teknik seismik interferometri dalam kasus tertentu kemudian beberapa mencoba melakukan usaha peningkatan kualitas penampang seismik interferometri. Salah satu peneliti yang melakukan usaha peningkatan adalah Draganov dkk pada 2007. Beliau meneliti pengaruh lama perekaman terhadap *virtual source* yang didapatkan. Penelitian tersebut menunjukkan peningkatan kualitas *event* refleksi seiring lamanya perekaman *noise* seperti yang ditunjukkan gambar dibawah ini,



Gambar 2.1 *Virtual source* pada 0 m dengan lama perekaman *noise* (a) 70 detik, (b) 1 jam, (c) 4 jam, dan (d) 10 jam. (Draganov, et al. 2007)

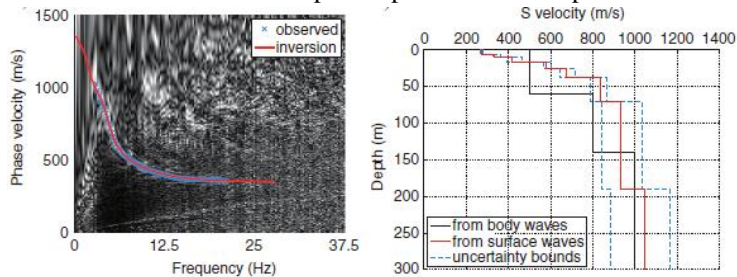
Selain itu, Bakulin pada tahun 2007 mengaplikasikan *virtual source* dalam monitoring reservoir migas. Monitoring dilakukan untuk mengetahui perubahan setelah proses injeksi *steam*. *Geophone* diletakkan di dalam lubang bor dekat dengan reservoir kemudian dilakukan perekaman pasif saat sebelum dan setelah injeksi *steam* kedalam reservoir.



Gambar 2.2 Perubahan antara penampang *zero-offset virtual source* sebelum injeksi uap (September 2002) dan setelah injeksi uap (Desember 2002) a), batas atas reservoir (b), *unconformity* (c). perubahan yang signifikan terletak di reservoir bawah. (Bakulin, et al. 2007)

Perubahan signifikan diperkirakan akibat dari injeksi uap yang berdampak pada *built up* amplitudo (c). Metoda tersebut mampu mengatasi monitoring pada kasus *overburden* kompleks yang sulit dimonitoring dengan *geophone* di permukaan.

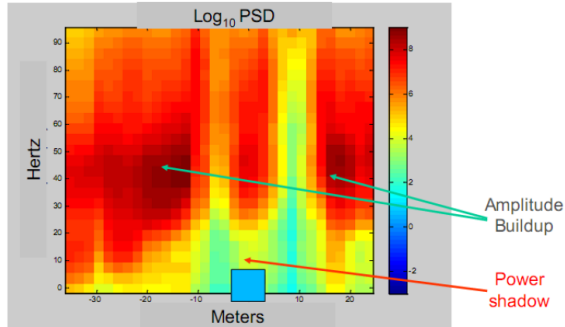
Inisiasi studi lainnya dilakukan oleh Nakata yaitu menggambarkan Vs bawah permukaan dengan menggunakan teknik seismik interferometri dengan cara merekam *noise* yang diaktifkan oleh kereta api. Beliau membuat *virtual source* untuk merekonstruksi pola gelombang permukaan kemudian dilakukan inversi MASW untuk mendapatkan profil Vs terhadap kedalaman.



Gambar 2.3 *Picking phase velocity*(kiri) dan hasil inversi MASW dari *virtual source* (kanan). (N. Nakata, et al. 2011)

Energi untuk membangkitkan *surface wave* cukup besar dikarenakan sumber yang digunakan adalah *noise* dari kereta api yang melintas sehingga mudah dalam analisis *picking phase velocity*.

Yang Zhao pada desertasinya di tahun 2013 mencoba mendeteksi letak rongga di bawah permukaan dengan memanfaatkan perekaman *ambient noise* dengan membentangkan beberapa *geophone* diatas permukaan tanah. Hal tersebut dilakukan karena metoda aktif tidak dapat menunjukkan pola refleksi letak rongga tersebut.



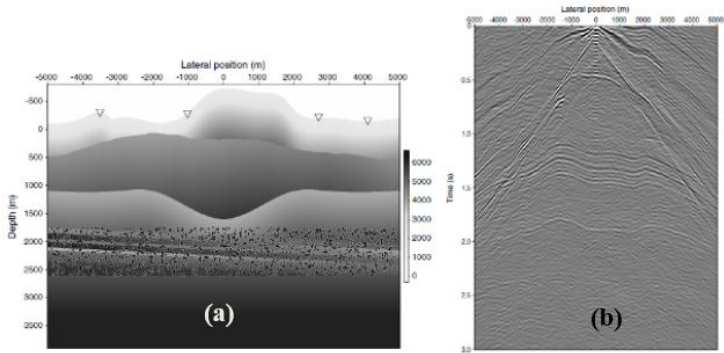
Gambar 2.4 *Power spectral* tiap *geophone* yang terletak diatas rongga bawah tanah. (Zhao 2013)

Beliau menggunakan *power spectral* tiap *geophone* yang telah dibentang. Secara lateral letak rongga tersebut ditandai dengan tanda (■) berhasil teridentifikasi tetapi untuk letak vertikal masih belum teridentifikasi (dikarenakan domain frekwensi). Posisi rongga ditandai dengan pelemahan *power* pada frekwensi tertentu (*power shadow*). Hal ini menandakan teknik seismik interferometri dapat digunakan pada kasus eksplorasi maupun geoteknik. Metoda ini juga masih memiliki peluang untuk dikembangkan dari segi metoda dan kegunaannya. Teknik interferometri tidak terpaku pada seismik saja semua metoda yang menggunakan prinsip penjalaran gelombang juga berpeluang untuk menggunakan metoda interferometri (misal GPR) (Hanafy and Schuster 2008).

Thorbecke dan Draganov membuat sebuah program simulasi numerik untuk seismik interferometri. Program ini menggunakan teori *finite difference* dari penjalaran gelombang pada medium.



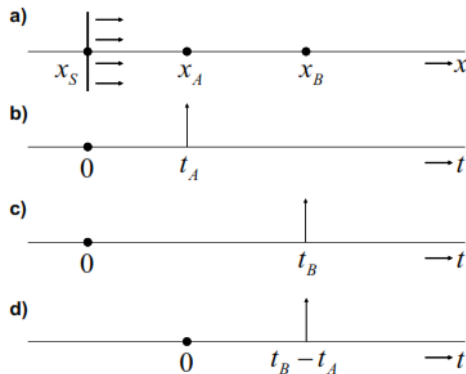
Dibawah ini adalah hasil dari *cross-correlation* dari semua sumber pada model yang telah dibuat,



Gambar 2.5 (a) Model (b) Hasil *cross correlation*. (Thorbecke and Deyan 2011)

(Gambar 2.5 (a)) menjelaskan model sintetik beserta distribusi *noise* kemudian dilakukan pembuatan *virtual source* dengan teknik *cross-correlation* (Gambar 2.5 (b))

### 2.3 1D Interferometri Gelombang Langsung



Gambar 2.6 a) Ilustrasikan posisi sumber yang merambat kekanan. b) dan c) adalah waktu tempuh dari sumber  $x_S$  pada masing-masing penerima. d) Respon *cross-correlation* antara impuls  $x_A$  dan  $x_B$  (Wapenaar, et al. n.d.).

Ilustrasi (Gambar 2.6) digunakan untuk memudahkan dalam pemahaman tentang seismik interferometri dengan asumsi cepat rambat gelombang  $c$  dalam keadaan konstan.

Dimana *Green's function* didefinisikan sebagai dua fungsi delta berikut,

$$G(x_A, x_S, t) = \delta(t - t_A) \text{ respon pada } x_A \quad (2.1)$$

$$G(x_B, x_S, t) = \delta(t - t_B) \text{ respon pada } x_B \quad (2.2)$$

Dengan  $t_A$  dan  $t_B$  adalah waktu tiba gelombang,

$$t_A = \frac{x_A - x_S}{c} \quad (2.3)$$

$$t_B = \frac{x_B - x_S}{c} \quad (2.4)$$

Kemudian *cross-correlation*  $x_A$  dengan  $x_B$  didapatkan pada  $t_B - t_A$ . Respon tersebut dapat diinterpretasikan sebagai respon pada  $x_B$  dari sumber yang terletak pada  $x_A$ .

$$G(x_B, x_A, t) = \delta(t_B - t_A) \quad (2.5)$$

Oleh karena itu letak sumber  $x_S$  (di kiri penerima) tidak perlu diketahui dengan pasti.

Selanjutnya akan dibahas lebih mendetail tentang *cross-correlation* lebih mendetail berdasarkan (Wapenaar, et al. n.d.)

Respon *cross-correlation* pada  $x_A$  dan  $x_B$ ,

$$G(x_B, x_S, t) * G(x_A, x_S, -t) \quad (2.6)$$

tanda (\*) merupakan operator *convolution*. Tetapi dikarenakan pembalikan pada waktu pada *Green function* kedua mengubah menjadi operator *correlation*,

$$G(x_B, x_S, t) * G(x_A, x_S, -t) = \dots \dots \int G(x_B, x_S, t + t') G(x_A, x_S, t') dt' \quad (2.7)$$

Substitusi fungsi delta pada sisi kanan,

$$\begin{aligned} \int \delta(t + t' - t_B) \delta(t' - t_A) dt' &= \delta(t - (t_B - t_A)) \\ &= \delta\left(t - \frac{(x_B - x_A)}{c}\right) \end{aligned} \quad (2.8)$$

Persamaan ((2.8) telah membuktikan bahwa korelasi dari  $x_A$  dan  $x_B$  memenuhi persamaan berikut,

$$G(x_B, x_A, t) = G(x_B, x_S, t) * G(x_A, x_S, -t) \quad (2.9)$$

Jika impuls sumber berbentuk *wavelet*  $s(t)$ ,

$$u(x_A, x_S, t) = G(x_A, x_S, t) * s(t) \quad (2.10)$$

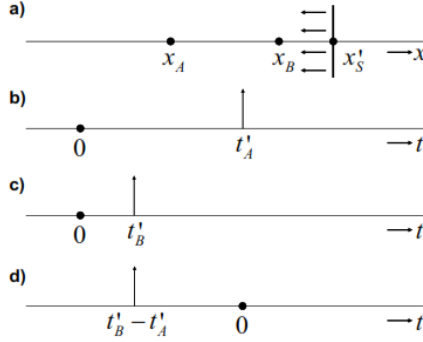
$$u(x_B, x_S, t) = G(x_B, x_S, t) * s(t) \quad (2.11)$$

Maka,

$$G(x_B, x_A, t) * S_s(t) = u(x_B, x_S, t) * u(x_A, x_S, -t) \quad (2.12)$$

Dengan,

$$S_s(t) = s(t) * s(-t) \text{ auto correlation dari wavelet} \quad (2.13)$$

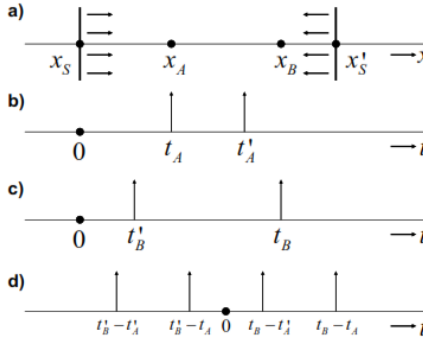


Gambar 2.7 Dengan sumber dari kanan ke kiri, *cross-correlation* d) diinterpretasikan sebagai *time reversed Green's function* (Wapenaar, et al. n.d.).

Dengan posisi sumber seperti pada (Gambar 2.7), maka persamaan

(2.9) menjadi

$$G(x_B, x_A, -t) = G(x_B, x'_S, t) * G(x_A, x'_S, -t) \quad (2.14)$$



Gambar 2.8 Ilustrasi jika sumber berasal dari kiri dan kanan penerima (Wapenaar, et al. n.d.).

Kemudian persamaan (2.9) dan

(2.14) digabungkan,

$$G(x_B, x_A, t) + G(x_B, x_A, -t) = \dots$$

$$\dots \sum_{i=1}^2 G(x_B, x_S^{(i)}, t) * G(x_A, x_S^{(i)}, -t) \quad (2.15)$$

Dimana  $x_S^{(i)}$   $i = 1, 2$  untuk  $x_S$  dan  $x'_S$ .

Persamaan (2.15) dengan sumber *wavelet*,

$$\{G(x_B, x_A, t) + G(x_B, x_A, -t)\} * S_s(t) = \dots \sum_{i=1}^2 u(x_B, x_s^{(i)}, t) * u(x_A, x_s^{(i)}, -t) \quad (2.16)$$

Pada persamaan (2.16) *cross-correlation* dilakukan terpisah kemudian baru dijumlahkan.

Jika sumber diganti dengan impuls beserta *ambient noise* maka respon pada  $x_A$  dan  $x_B$ ,

$$u(x_A, t) = \sum_{i=1}^2 G(x_A, x_s^{(i)}, t) * N_i(t) \quad (2.17)$$

$$u(x_B, t) = \sum_{j=1}^2 G(x_B, x_s^{(j)}, t) * N_j(t) \quad (2.18)$$

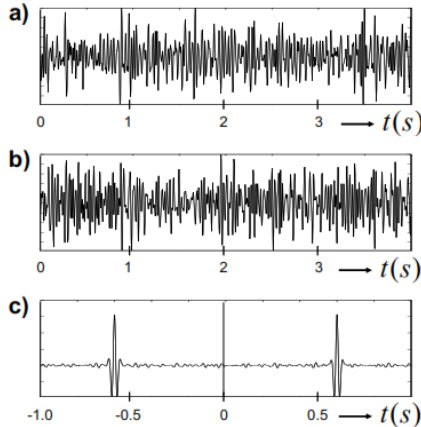
Apabila dilakukan *cross-correlation* antara  $x_A$  dan  $x_B$ ,

$$\begin{aligned} \langle u(x_B, t) * u(x_A, -t) \rangle = \dots \\ \dots \left\langle \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 G(x_B, x_s^{(j)}, t) * N_j(t) * G(x_A, x_s^{(i)}, -t) * N_i(-t) \right\rangle = \dots \\ \dots \sum_{i=1}^2 G(x_B, x_s^{(i)}, t) * G(x_A, x_s^{(i)}, -t) * S_N(t) \end{aligned} \quad (2.19)$$

Dengan menggabungkan persamaan (2.15) dengan (2.19),

$$\{G(x_B, x_A, t) + G(x_B, x_A, -t)\} * S_N(t) = \dots \langle u(x_B, t) * u(x_A, -t) \rangle \quad (2.20)$$

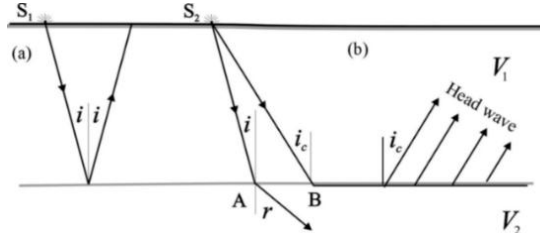
Persamaan tersebut menunjukkan bahwa *cross-correlation* dari kedua sumber yang telah terkorelasikan dengan *autocorrelation ambient noise* dan tersuperposisi menghasilkan *Green's function* beserta *time reversed*.



Gambar 2.9 *Ambient noise* dilakukan secara bersamaan dari kanan dan kiri (Wapenaar, et al. n.d.).

## 2.4 Refleksi dan Refraksi

Sebagian gelombang akan dipantulkan dan sebagiannya lagi diteruskan dengan sudut yang berbeda (dibiaskan) saat gelombang seismik menjalar ke medium lain. Gelombang yang dipantulkan memiliki sudut pantul sama dengan sudut insiden.



Gambar 2.10 Ilustrasi fenomena refleksi (a) dan refraksi (b) (Milsom and Eriksen 2011).

Hukum Snellius mendefinisikan hubungan antara sudut refraksi dan kecepatan gelombang seismik,

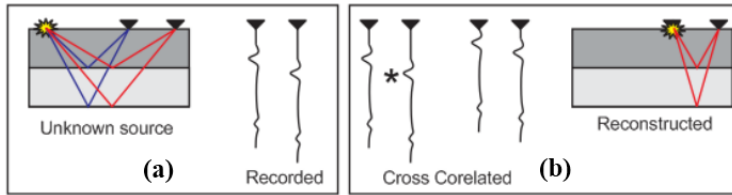
$$\frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.21)$$

Jika  $V_2$  lebih besar dari  $V_1$ , refraksi akan mendekati bidang batas. Jika  $\sin(i)$  sama dengan  $\frac{V_1}{V_2}$  (sudut kritis  $i_c$ ) maka gelombang direfraksikan sejajar dengan bidang perlapisan (*head wave*).

## 2.5 Sumber Gelombang Digunakan (berasal dari *noise*)

*Noise* yang muncul meskipun tanpa generasi dari *source* disebut *random ambient noise*. *Noise* tersebut dapat dipicu dari aktivitas lalu lintas, hewan, tumbuhan, dan manusia. (Milsom and Eriksen 2011).

Jenis *noise* darat terdapat dua macam yaitu *long-period noise* dan *short-period noise*. *Long-period noise* ditimbulkan oleh fluktuasi tekanan atmosfer (Bormann and Wielandt 2013). *Short-period noise* dapat ditimbulkan oleh alam (gerakan pohon karena angin, tumbukan angin dengan kontur permukaan tanah, dan riak air). Umumnya *noise* tersebut memiliki rentang frekwensi 0.5 Hz hingga 15 Hz atau bahkan hingga 60 Hz. (Young, et al. 1996). *Noise* yang memiliki frekwensi tinggi biasanya diakibatkan aktifitas manusia (*power plants*, pabrik, putaran mesin, pada jalan raya dan jalur kereta api). *Noise* tersebut cenderung menggenerasi gelombang permukaan tetapi dapat menggenerasikan gelombang *body* ( $V_p$ , dan  $V_s$ ) (Bormann and Wielandt 2013)



Gambar 2.11 Ilustrasi *virtual source* (a) *ray tracing* sumber tidak diketahui (b) *ray tracing* setelah *cross-correlation* tiap *trace*.

(Gambar 2.11) menjelaskan konsep sederhana rekonstruksi *Green's function* dengan metoda *cross-correlation*. Sumber yang tidak diketahui letaknya dapat didapatkan respon *zero offset* pada *geophone* pertama (terdekat dengan sumber).

Semua *noise* yang terekam digunakan sebagai data untuk membuat *virtual source*. Variasi dominasi dari *traffic noise* akan berdampak dalam hasil *virtual source*. Dampak tersebut menjadi salah satu bahasan pada penelitian Tugas Akhir ini.

## 2.6 Kecepatan Gelombang Seismik pada Batuan di Lokasi Penelitian

Gelombang P ( $V_p$ ) disebut dengan gelombang kompresi/ gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan rambat paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain, dapat merambat melalui medium padat, cair dan gas. Persamaan dari kecepatan gelombang P adalah sebagai berikut:

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (2.22)$$

Dimana,

$\lambda$  = konstanta lame.

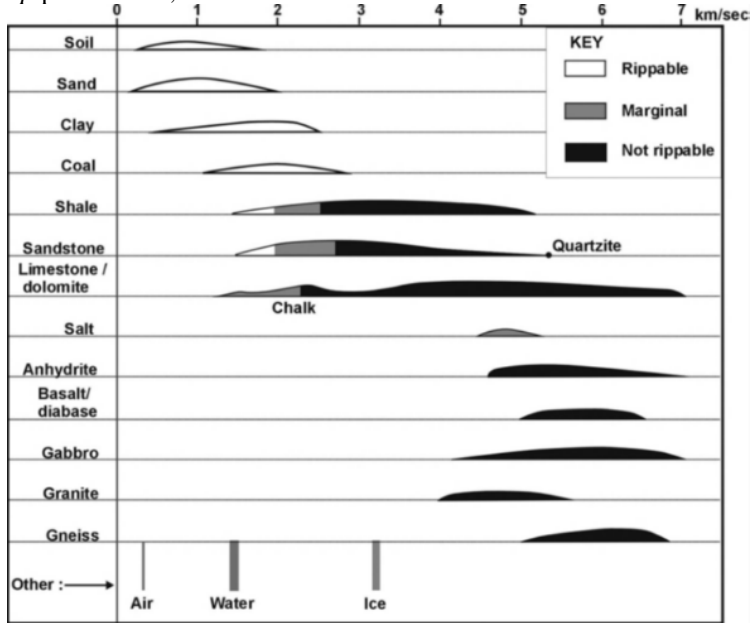
$\mu$  = rigiditas.

$\rho$  = densitas medium.

Kecepatan gelombang seismik dipengaruhi oleh medium yang dilaluinya. Apabila medium yang dilaluinya meruakan campuran dari beberapa material berbeda maka bisa dilakukan perhitungan perata-rataan dari *velocity*.

Lokasi akuisisi data seismik terletak di Kecamatan Sukolilo Surabaya tepatnya dalam area Kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada lokasi ini dilakukan pengambilan di dua lintasan seismik yang berbeda. Lintasan 1 berada pada Taman Alumni ITS kemudian lintasan 2 berada pada jalur hijau dekat Gedung Forensik ITS.

Lokasi penelitian berada pada batuan alluvium yang diatasnya adalah lapisan lapuk (*top soil*), maka nilai  $V_p$  berdasarkan tabel berada pada kisaran < 2000 m/s. Apabila retakan pada lapisan lapuk tersebut terisi oleh gas maupun air maka akan menurunkan cepat rambat gelombang, dan meredam energi gelombang. (Telford, Geldart and Sheriff 1990). Dibawah ini adalah beberapa nilai  $V_p$  pada batuan,



Gambar 2.12 Rentang nilai  $V_p$  dan rippabilities pada udara,air,es,dan batuan. (Milsom & Eriksen, 2011).

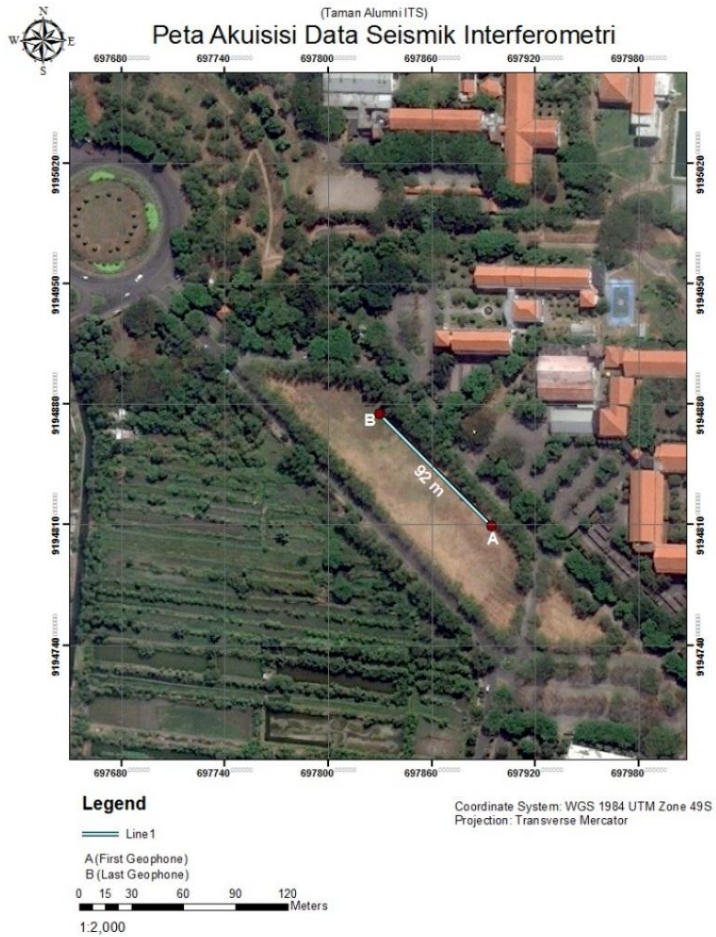
Jenis batuan yang digunakan dalam interpretasi pada lokasi penelitian adalah *soil*, *sand*, dan *clay* yang memiliki nilai  $V_p$  < 2500 m/s berdasarkan (Gambar 2.12). Selain dari jenis batuan cepat rambat gelombang seismik juga dipengaruhi oleh kondisi dari batuan tersebut (kompaksi; porositas; pengisi pori).

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian



Gambar 3.1 Lokasi akuisisi kondisi ramai(29/03/2017) (Bing satellite view 2017).



Gambar 3.2 Lokasi akuisisi kondisi senyap (21/04/2017) (Bing satellite view 2017).

Tabel 3.1 Koordinat Lintasan Akuisisi Seismik (49S-UTM).

Line	B		A		Length m
	X	Y	X	Y	
1	697829.908	9194873.87 9	697895.068 7	9194808.94 3	92
2	698252.320 8	9195293.43 8	698188.894	9195360.07 9	92

Waktu pengambilan data berbeda, lintasan Taman Alumni ITS (Gambar 3.1) dimulai pengambilan data pada sore hari mulai pukul 14.17 WIB dengan keadaan ramai akan lalu lintas kendaraan baik didekat maupun yang jauh dari area pengukuran. Pengambilan data pada Forensik ITS (Gambar 3.2) dimulai pada dini hari pukul 00.09 WIB, kondisi pada saat itu relatif jauh lebih sepi dari lalu lintas kendaraan yang melintas. Perbandingan *virtual source* dilakukan pada lintasan Forensik ITS saja dengan asumsi terjadi peningkatan *traffic noise* saat kendaraan melintas di dekat area pengukuran (radius  $\pm 30$  m).

### 3.2 Peralatan dan Data

Penelitian Tugas Akhir ini membutuhkan peralatan, *Software*, dan data mentah yang disajikan dalam tabulasi berikut,

Tabel 3.2 Peralatan yang digunakan dalam penelitian.

No	Peralatan	Jumlah	Keterangan
1.	Geosam	1 set	(Seismik 24 <i>Channel</i> )
2.	Meteran	1 set	(Panjang 100 m)
3.	Palu seismik	1 buah	-
4.	Plat Baja	1 buah	
5.	Laptop	1 buah	CPU-AMD A6, 4 GB RAM
65.	GPS	1 buah	Garmin

Tabel 3.3 Perangkat Lunak (*Software*) yang digunakan dalam penelitian.

No	<i>Software</i>	Keterangan
1.	Microsoft Office 2016	Program pengolah kata
2.	Program pengolah seismik refleksi	-
3.	Seisee	<i>SEG Y editor and converter</i>
4.	WSEGY	<i>Create shoot gather</i>
5.	Ubuntu	<i>Linux base OS</i>
6.	Fdelmodc	<i>Source code</i>
7.	ZondST2D	<i>2D Seismic Tomography</i>
8.	ArcGIS	Program pengolah SIG
9.	Matlab	Program pengolah numerik
10.	SeisLab 3.01 (Matlab)	Program analisis data seismik dan well-log.

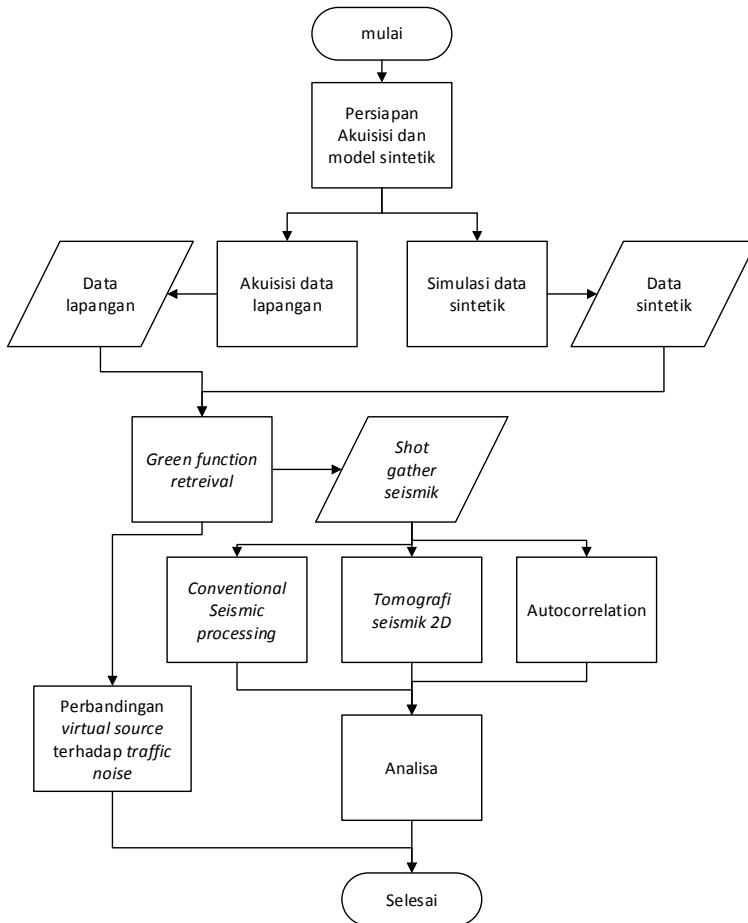
Tabel 3.4 *Raw data* yang digunakan dalam penelitian.

No	Data	Keterangan
1.	2 Data Sintetik	Data sintetik tomografi dan data sintetik refleksi.
2.	6 <i>passive records seismic</i>	Masing-masing di Taman Alumni ITS, dan di Forensik ITS dengan pengulangan 3-kali.
3.	1 Data <i>active source seismic</i> .	Lokasi di Forensik ITS.

Selain data seismik pasif, penelitian ini juga membutuhkan data seismik aktif oleh karena itu pada (Tabel 3.2) dibutuhkan perlengkapan palu seismik dan plat baja. Sedangkan *software* yang digunakan pada (Tabel 3.3) terdapat *software* standar dalam pengolahan seismik tomografi dan seismik refleksi.

Total jumlah data yang digunakan pada penelitian ini adalah 9 data (Tabel 3.4). Akuisisi data dengan pengulangan 3 kali pada Forensik ITS digunakan dalam perbandingan *virtual source* pada kondisi noise yang berbeda. Sedangkan pengulangan 3 kali data pada Taman Alumni ITS dipilih salah satu yang memiliki karakter *noise* permukaan yang rendah.

### 3.3 Diagram Alir Penelitian

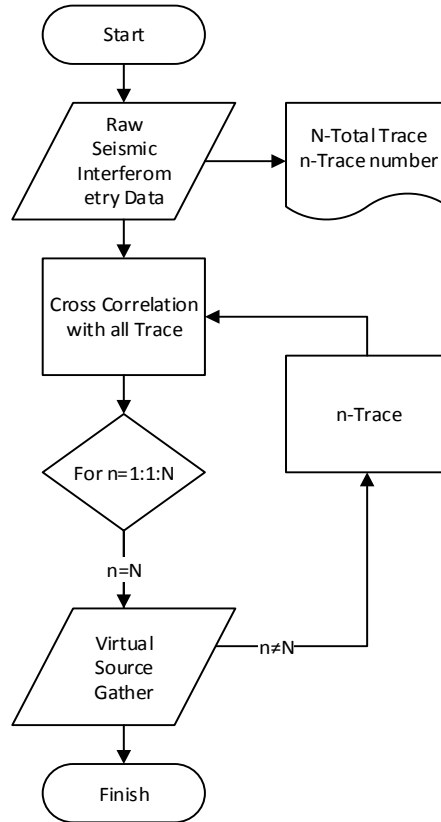


Gambar 3.3 Diagram alir penelitian.

Sesuai dengan diagram alir (Gambar 3.3), pertama dilakukan pengolahan data sintetik untuk validasi metoda pengolahan. Pengolahan yang dilakukan adalah pengolahan seismik refleksi, tomografi seismik, dan tambahan *autocorrelation*. Pengolahan pada data akuisisi seismik lapangan dilakukan setelah pengolahan pada data sintetik berhasil. Faktor pengaruh *traffic noise* dilakukan analisis kuantitatif dari segi perubahan amplitudo dan kualitatif berdasarkan

perbandingan terhadap penampang *virtual source*. Interpretasi dilakukan menggunakan tabel properti  $V_p$  batuan. Penampang seismik refleksi dalam domain *depth* dan dilakukan *overlay* dengan *velocity interval* dari picking *velocity-analysis* yang juga dalam domain *depth*.

### 3.4 Diagram Alir Perhitungan Virtual Source



Gambar 3.4 Diagram alir pembuatan *virtual source* dengan metoda *cross-correlation*.

Proses perhitungan *virtual source* dilakukan pada Matlab untuk mempermudah *looping process* pada perhitungan *cross-correlation* pada (Gambar 3.4). Dua trace yang berbeda antara *master trace* dengan *trace* lainnya dilakukan perhitungan pada tiap sampel datanya hingga lag *cross correlation* terakhir.

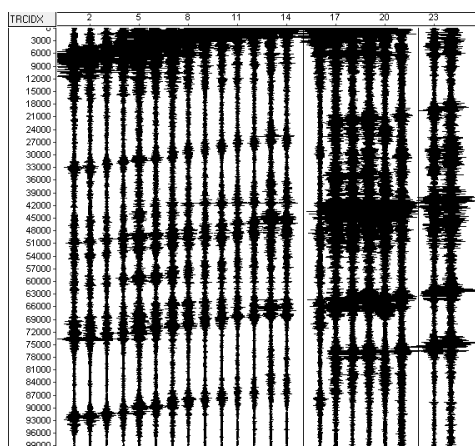
Kemudian dilakukan pemotongan pada data dengan *time* record yang relatif tidak mengandung informasi yang dibutuhkan.

### 3.5 Persiapan Pengolahan Data Seismik Interferometri Lapangan

Teknik pengolahan data survey lapangan sama dengan yang digunakan pada data sintetik. Perlakuan yang membedakan adalah pada *Band Pass filtering* pada tiap data.

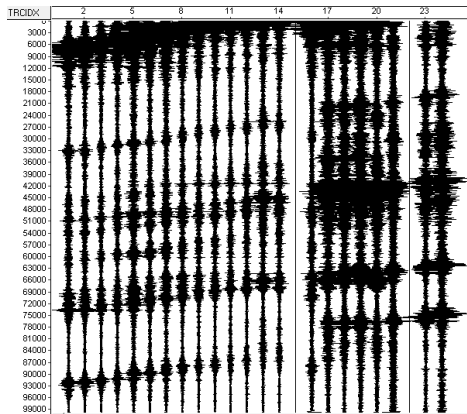
#### 3.5.1 Raw Data Seismik Interferometri

Lama perekaman tiap data adalah 99.99 s dengan *sampling time* 4 ms. Lokasi pengambilan data pertama adalah di Taman Alumni ITS pada kondisi *traffic* ramai.



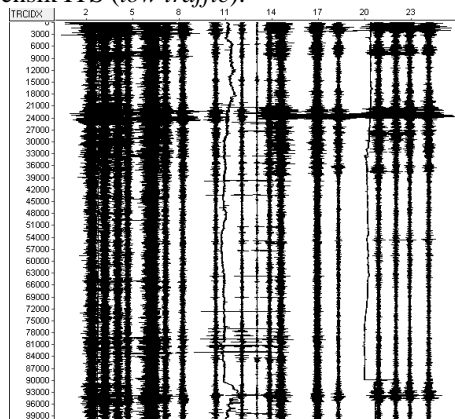
Gambar 3.5 *Raw Data* Interferometri (Taman Alumni ITS).

Pada (Gambar 3.5) terlihat sumber *noise* dengan amplitudo besar berasal dari sisi *geophone* 24, dimana *geophone* 24 terletak di dekat dengan sumber *noise traffic*. Kemudian terdapat permasalahan *wire short* pada *geophone* 15 dan *geophone* 22 sehingga *trace* pada kedua *geophone* ini dimatikan.



Gambar 3.6 Raw Data Taman Alumni ITS setelah *kill trace*.

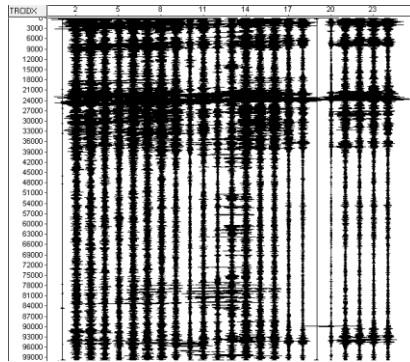
Terlihat 2 *trace* yang telah dimatikan (Gambar 3.6) agar tidak mengacaukan proses penghitungan *cross correlation* pada pembuatan *virtual source*. Kemudian data lokasi ke-dua diambil pada malam hari tepatnya di jalur hijau dekat Gedung Forensik ITS (*low traffic*).



Gambar 3.7 Raw Data Interferometri (Forensik ITS).

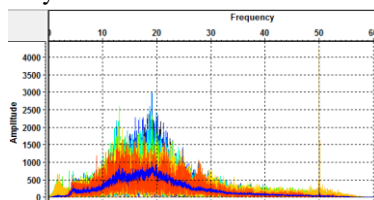
Disini terdapat permasalahan pada pergeseran fase pada *trace* 11 dan 20 yang terlihat pada (Gambar 3.7). Hal tersebut dapat diatasi dengan dengan normalisasi akan tetapi hal itu bisa dilakukan jika pergeseran fase konstan. Alternatif yang dilakukan adalah dengan kombinasi *filtering* setelah normalisasi.



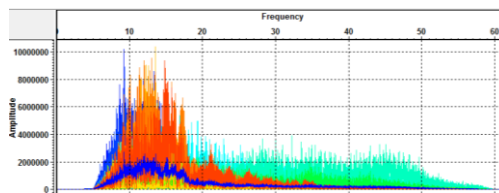


Gambar 3.8 *Raw Data* Forensik ITS setelah normalisasi dan *Band Pass* (5,10,15,20).

Pergeseran fase pada *trace* terlihat berkurang (Gambar 3.8). Hal tersebut ditandai dengan kembalinya fase *trace* tersebut ke titik nol amplitudo.



Gambar 3.9 Spektrum frekwensi (Taman Alumni ITS).



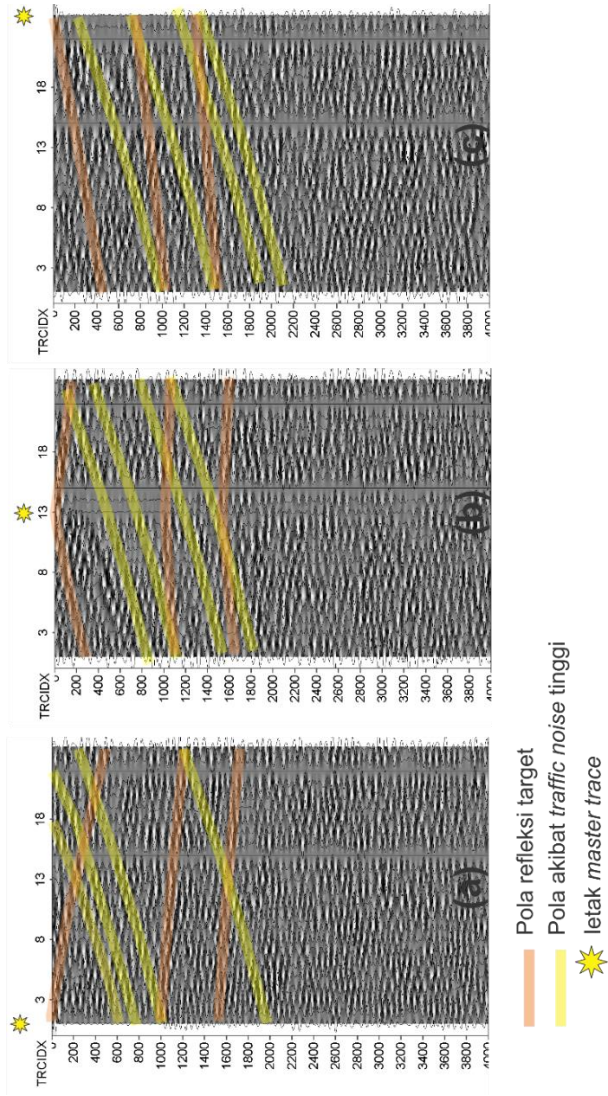
Gambar 3.10 Spektrum frekwensi (Forensik ITS).

Rentang frekwensi data pada Taman Alumni ITS (Gambar 3.9) memiliki karakter frekwensi yang lebih tinggi dibanding pada Forensik ITS (Gambar 3.10). Besar kemungkinan hal tersebut disebabkan oleh *traffic noise* yang berbeda saat siang (*low noise*) dan malam hari (*high noise*).

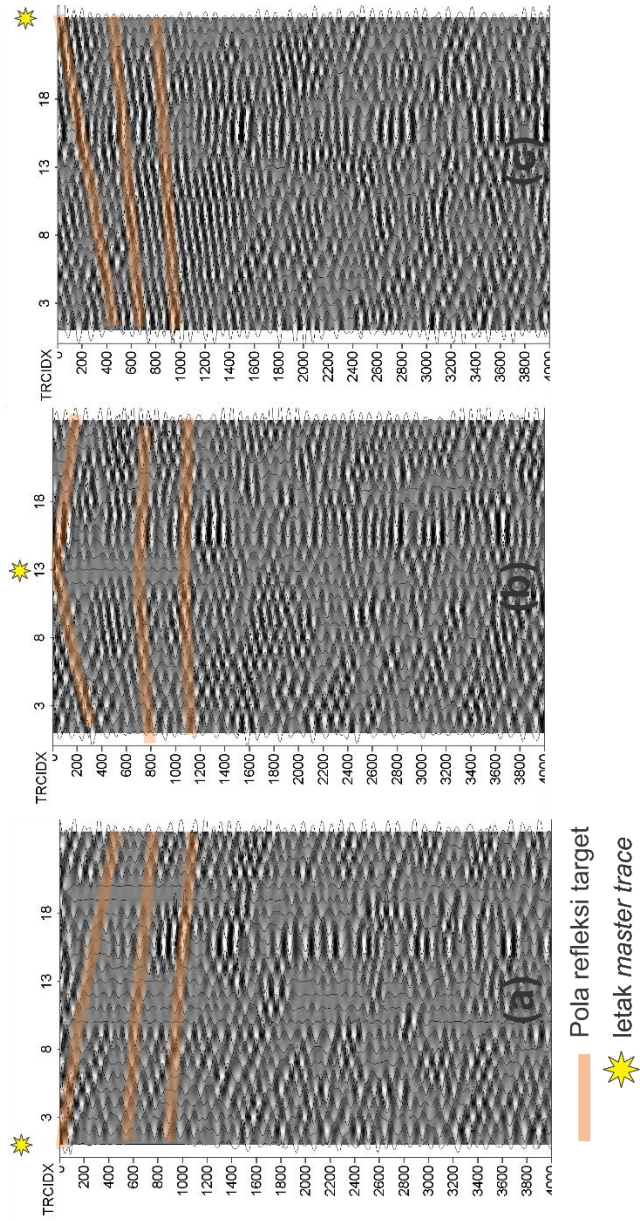
### 3.5.2 Virtual Source Data Lapangan

Perhitungan *virtual source* dilakukan dengan *cross-correlation* mengikuti diagram alir (Gambar 3.4).

Berikut ini adalah sampel *virtual source* pada tiap lintasan pengukuran,



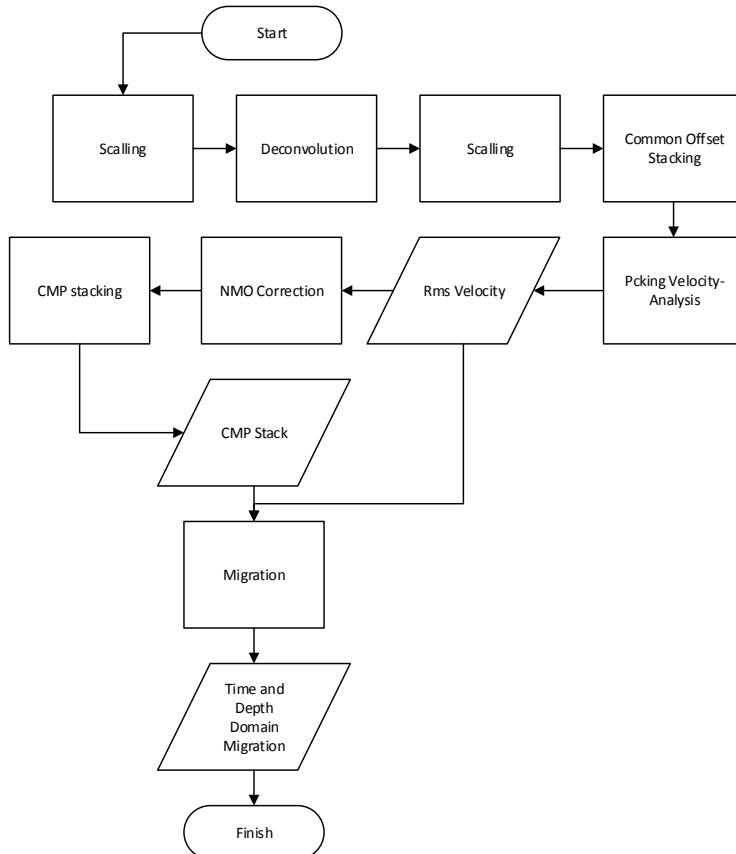
Gambar 3.11 *Virtual Source* (a) *Geophone 1*, (b) *Geophone 13*, dan (c) *Geophone 24* (Taman Alumni ITS).



Gambar 3.12 Virtual Source (a) Geophone 1, (b) Geophone 13, dan (c) Geophone 24 (Forensik ITS).

Jika dibandingkan (Gambar 3.12) memiliki pola kemenerusan refleksi yang lebih jelas dibandingkan (Gambar 3.11). Hal tersebut menandakan bahwa data pada kondisi *low traffic noise* lebih baik untuk mendapatkan rekonstruksi pola refleksi pada seismik interferometri. Saat perekaman data pada Taman Alumni ITS memang dalam kondisi lalu lintas yang ramai (*high traffic noise*) jika dibandingkan pada saat perekaman data pada jalur hijau dekat Forensik ITS.

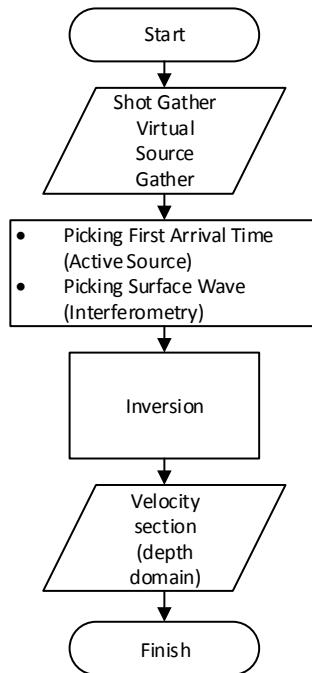
### 3.6 Diagram Alir Pengolahan Seismik Refleksi



Gambar 3.13 Diagram Alir Pengolahan Seismik Refleksi.

Pada diagram alir (Gambar 3.13) pengolahan data seismik refleksi dilakukan setelah dibuatnya *virtual source gather*. Dilakukan juga *QC* dengan memanfaatkan *bandpass filter* dengan acuan refleksi terlihat lebih jelas. Hasil akhir berupa penampang seismik dalam domain *time* dan *depth*.

### 3.7 Diagram Alir Pengolahan Seismik Tomografi



Gambar 3.14 Diagram Alir Pengolahan Seismik Tomografi.

Tahapan inversi pada (Gambar 3.14) menggunakan metode Occam. Metoda tersebut dipilih karena memiliki waktu iterasi paling minimum dan menghasilkan model yang mudah diinterpretasikan karena model inversi cenderung memiliki kemenerusan lateral yang halus.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Analisa data dan pembahasan dibagi dalam beberapa sub-bab untuk memudahkan dalam masing-masing penjelasan. Sub-bab penjelasan dimulai dari pengolahan data sintetik untuk mendapatkan validasi dari metoda pengolahan seismik interferometri yang dilakukan sebelum berlanjut kedalam kasus pengolahan data lapangan. Kemudian pada sub-bab selanjutnya dijelaskan faktor yang berpengaruh pada data lapangan untuk mengetahui dampak *traffic noise*. Sub-bab terakhir barulah menjelaskan hasil dari aplikasi metoda pengolahan seismik interferometri pada data Taman Alumni ITS dan Forensik ITS beserta interpretasinya.

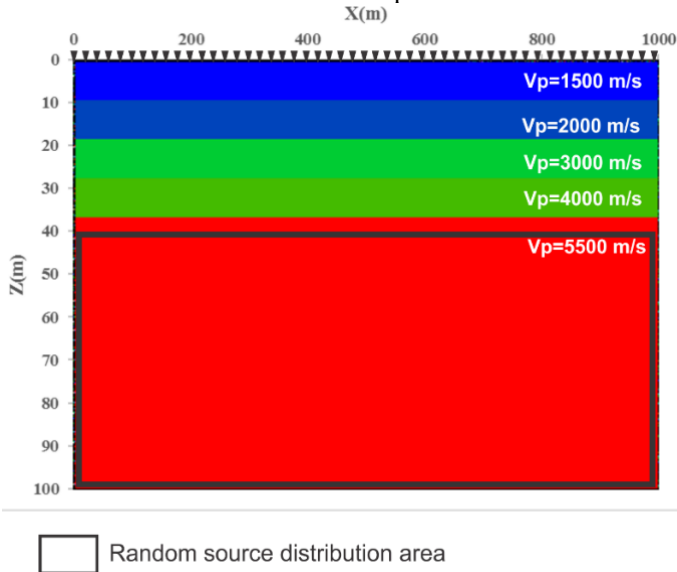
### 4.1 *Forward Modelling* dan Pengolahan Data Sintetik Seismik Interferometri Tomografi

penentuan model sintetik dilakukan dalam tahapan menghasilkan data seismik interferometri sintetik. Model yang berbeda digunakan dalam seismik refleksi dan tomografi (interferometri). Hal ini dilakukan untuk mengatasi kedalaman yang dapat ter-cover oleh tiap metoda pengolahan dan efisiensi komputasi. Simulasi yang dilakukan adalah *accoustic seismic modelling*, yaitu simulasi penjalaran gelombang kompresi ( $V_p$ ) didalam medium model yang telah dibuat.

Program simulasi gelombang seismik pada umumnya hanya dapat melakukan simulasi satu *source* tiap simulasi sedangkan pada seismik interferometri dibutuhkan simulasi beberapa *sources* (sebagai *noise* bawah permukaan acak) dalam sekali simulasi. Simulasi seismik interferometri dilakukan dengan bantuan *source code* berbasis linux “Fdelmodc” yang dikembangkan oleh Jan Thorbecker (J. Thorbecke 2016). *Source code* tersebut dapat digunakan pada *Operating System* Ubuntu dengan penyesuaian beberapa *plugin* tambahan yang harus dipasang.

#### 4.1.1 Model Seismik Interferometri (Tomografi)

Berikut ini adalah model dan skema akuisisi pada data sintetik.



Gambar 4.1 Model sintetik seismik tomografi interferometri beserta distribusi *source*.

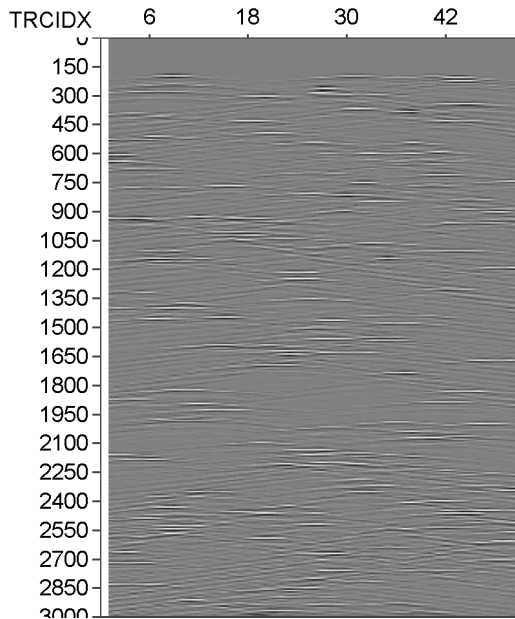
Model yang digunakan adalah model perlapisan sederhana. Hal ini dimaksudkan untuk melihat efek dari *random noise* terhadap model sederhana.  $V_p$  yang digunakan meningkat di tiap kedalaman hal ini dimaksudkan agar terjadi kondisi ideal pada kasus seismik refraksi. Berikut ini adalah spesifikasi dari simulasi model sintetik,

Tabel 4.1 Parameter pemodelan seismik interferometri (tomografi).

<b>Fmax</b>	70 Hz
<b>Source depth</b>	40-100 m
<b>Geophone</b>	51
<b>Geophone Spacing</b>	20 m
<b>Record Length</b>	120 s
<b>Sampling Rate</b>	8 ms

Frekwensi dan geometri yang digunakan pada data sintetik mengikuti pertimbangan tebal minimal dari model perlapisan agar dapat meng *cover* lapisan ter-tipis. Dari *record length* dan *sampling rate* yang digunakan maka didapatkan 15001 data sampel dari tiap *trace*.

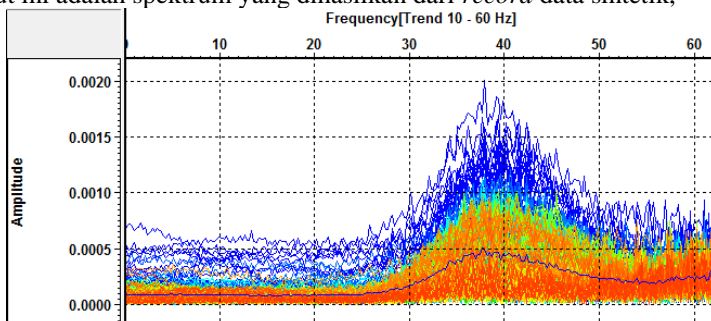




Gambar 4.2 *Raw Record Synthetic Data* (model seismik tomografi)

Pada *raw record synthetic* (Gambar 4.2) hanya terlihat pola refleksi gelombang yang tersebar acak pada penampang. Tahapan selanjutnya adalah menghitung *virtual source* untuk mendapatkan rekonstruksi *Green function* dari gelombang sebelum dilakukan tahapan inversi tomografi.

Berikut ini adalah spektrum yang dihasilkan dari *record* data sintetik,



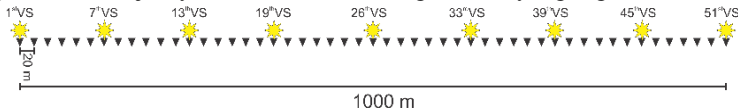
Gambar 4.3 Spektrum frekwensi data sintetik (tomografi).

Amplitudo (Gambar 4.3) terbesar pada kisaran frekwensi  $\pm 40$  Hz. Hal ini bisa jadi menandakan frekwensi  $\pm 40$  Hz memiliki informasi terbaik untuk

digunakan terlepas dari faktor lainnya seperti *surface noise* (asumsi dalam kondisi ideal untuk dilakukan pengolahan).

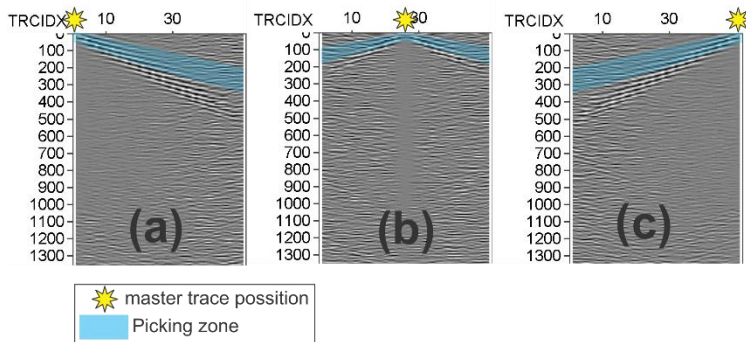
#### 4.1.2 Pengolahan Data Seismik Interferometri Tomografi Sintetik

Setelah data sintetik berhasil dibuat maka selanjutnya adalah perhitungan *virtual source* pada geometri yang telah ditentukan untuk pengolahan selanjutnya. Berikut ini adalah geometri yang digunakan,



Gambar 4.4 Geometri *virtual source gather*.

Simbol (☀) merupakan letak *master trace* yang dibuat dan digunakan sedangkan simbol (▼) merupakan letak dari *recheiver*. Geometri dari *picking* dilakukan dengan interval 6-*virtual source* (relatif renggang) dikarenakan model yang digunakan tidak begitu rumit sehingga diasumsikan tidak banyak perubahan yang terjadi jika dilakukan *picking* dengan interval yang rapat. Berdasarkan geometri (Gambar 4.4) perhitungan *virtual source* dilakukan dengan *cross-correlation*. Dibawah ini adalah contoh dari beberapa *virtual source* yang telah dibuat,

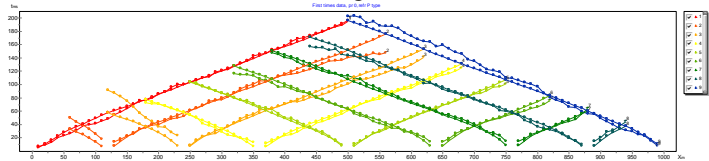


Gambar 4.5 *Virtual source* pada (a) *Geophone 1*, (b) *Geophone 26*, dan (c) *Geophone 51*.

Dari perekaman data seismik interferometri yang memiliki bentukan simpang-siur hasil gelombang acak didapatkan bentukan muka gelombang dengan kemenerusan pada posisi *virtual source*. Jika di amati (Gambar 4.5) fenomena refraksi tidak terlihat dari model tersebut tetapi yang terlihat adalah kemenerusan dari *surface wave*.

Kemudian dari setiap *virtual source* dilakukan *picking* pada gelombang yang terbentuk dari titik *time=0 s* yang memiliki kemenerusan.

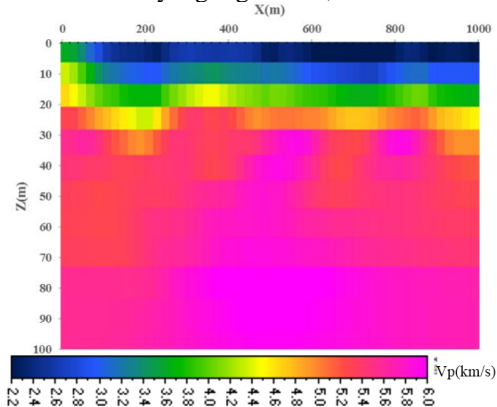
*Picking* dilakukan pada kisaran waktu dibawah 200 ms. Setelah semua *picking* dilakukan maka dilakukan inversi tomografi seismik.



Gambar 4.6 Hodogram (model sintetik).

Hodogram tersebut (Gambar 4.6) menginformasikan pola *picking* dari gelombang yang telah terekonstruksi pada *virtual source*. Terdapat kurva lain yang mendekati *picking*, kurva tersebut adalah kurva yang diperoleh dari hasil *forward modelling* model yang didapat pada akhir inversi.

Berikut ini adalah penampang *velocity* hasil inversi pada data sintetik beserta tabel parameter inversi yang digunakan,



Gambar 4.7 Penampang *Vp* hasil inversi data sintetik.

Tabel 4.2 Parameter inversi data sintetik

<b>Inversion method</b>	Occam's
<b>RMS</b>	<0.01
<b>Smoothing factor</b>	1
<b>Depth smoothing</b>	0.5
<b>Focussing Parameters</b>	0.010
<b>Smoothness Ratio</b>	0.5

Inversi dilakukan berdasarkan acuan *error RMS*. Karena acuan tersebut lebih berorientasi pada hasil yang baik yaitu iterasi berhenti pada nilai parameter *error* yang telah ditentukan. Pada (Tabel 4.2) terdapat beberapa

parameter pendukung. Parameter pendukung *smoothing factor* mengatur tingkat *smoothness* dari kontras model parameter dengan maksimum adalah 1. *Depth smoothing* merupakan pengaturan *smoothness* model terhadap kedalaman nilai maksimum adalah 1. *Focussing parameter* merupakan parameter yang digunakan untuk mengubah tingkat kontras model kedalam geometri yang tegas. *Smoothness ratio* merupakan rasio antara *smoothing* arah vertikal dan horisontal. Nilai *smoothnes ratio* yang digunakan cenderung lebih *smooth* kearah horisontal dengan nilai parameter (0.5).

$V_p$  hasil inversi memiliki bentukan yang relatif sama dibandingkan dengan model awal. Undulasi kemenerusan perlapisan dapat diakibatkan oleh *human error* saat *picking Surface Wave* karena pergeseran saat *picking* menelusuri kemenerusan dari bentukan muka gelombang. Kurang tegasnya bentukan batas perlapisan dari model yang di buat dapat disebabkan *human error* dan juga tipe metoda inversi yaitu Occam yang cenderung menghasilkan model *smooth*. Nilai *velocity* hasil inversi cenderung lebih besar dari pada  $V_p$  model. Rentang peningkatan  $V_p$  yang terjadi adalah 500 m/s hingga 700 m/s.

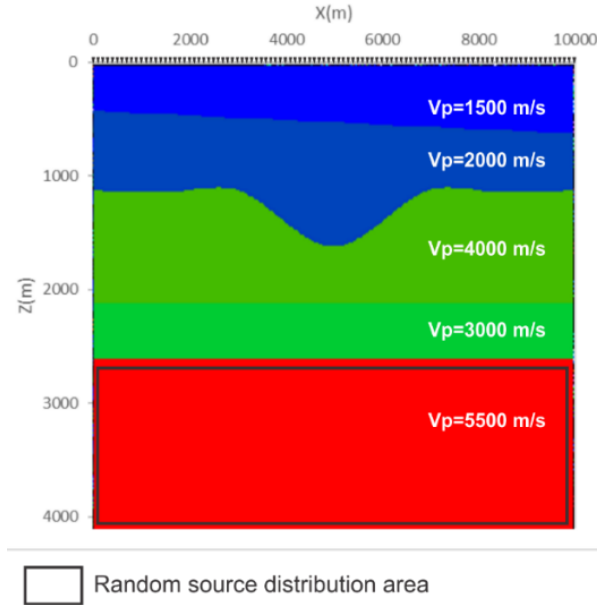
## **4.2 Forward Modelling dan Pengolahan Data Sintetik Seismik Interferometri Refleksi**

Pembuatan data sintetik seismik interferometri kasus refleksi digunakan model dengan dimensi yang lebih besar. Kemudian kompleksivitas ditingkatkan lebih tinggi dibanding model pada (Gambar 4.1) pada seismik tomografi. Simulasi masih menggunakan *source code* yang sama Fdelmodc dan dilakukan pada mode *accoustic modelling* (Penjalaran gelombang kompresi).

### **4.2.1 Model Seismik Interferometri (Refleksi)**

Pemodelan dilakukan dengan membuat geometri dari *polygon* dengan menentukan titik koordinat dari tiap model atau perlapisan. Penentuan nilai  $V_p$  dalam satuan (m/s) dilakukan setelah *polygon* dibuat. Selanjutnya dilakukan penentuan letak *geophone* dan karakter sumber. *Geophone* diletakkan merata di permukaan model.

Berikut ini adalah model yang digunakan dalam pemodelan sintetik,



Gambar 4.8 Model Seismik Refleksi Interferometri modifikasi dari (Thorbecke and Deyan 2011).

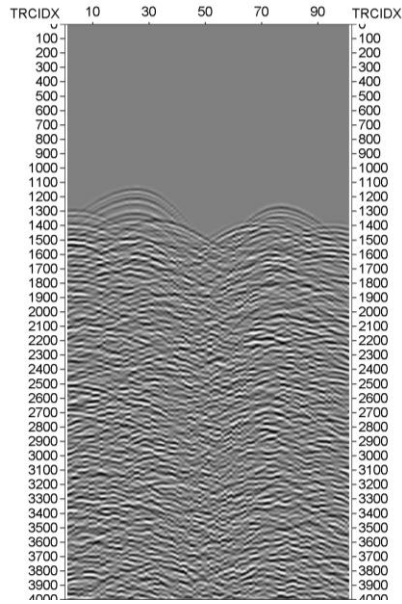
Kontak lapisan pertama dan kedua diibaratkan perlapisan miring dengan *dipping* sekitar  $\pm 1.14^\circ$ . Kemudian pada lapisan ketiga dimisalkan sebagai *channel* akibat erosi yang menggerus bagian tengah. Model ini memiliki *low velocity* pada lapisan keempat (3000 m/s). Hal ini dilakukan bertujuan untuk mencoba melihat efek kontras impedansi tinggi pada seismik interferometri. Karakter sumber yang digunakan adalah *random frequency* (memiliki variasi frekwensi acak dengan maksimal frekwensi tertentu “*Fmax*”).

Tabel 4.3 Parameter pemodelan seismik interferometri (refleksi).

<b><i>Fmax</i></b>	30 Hz
<b><i>Source depth</i></b>	2700-3900 m
<b><i>N-sources</i></b>	8000
<b><i>Geophone</i></b>	101
<b><i>Geophone Spacing</i></b>	100 m
<b><i>Record Length</i></b>	120 s
<b><i>Sampling Rate</i></b>	8 ms

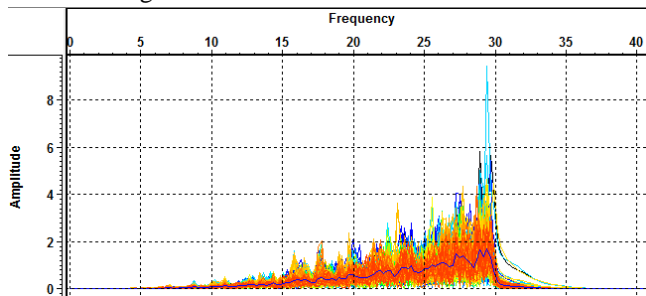
Frekwensi yang digunakan pada data sintetik cenderung lebih rendah jika dibanding model pada kasus tomografi karena perlapisan yang jauh lebih tebal.

Dari *record length* dan *sampling rate* didapatkan 15001 data sampel dari tiap *trace*. Berikut ini adalah data sintetik hasil simulasi pada Fdelmodc,



Gambar 4.9 *Raw Record Synthetic* Data model seismik interferometri (refleksi).

Data hasil simulasi sintetik (Gambar 4.9) menunjukkan bentukan pola gelombang acak yang belum dapat di olah dengan metoda seismik refleksi maupun seismik tomografi.

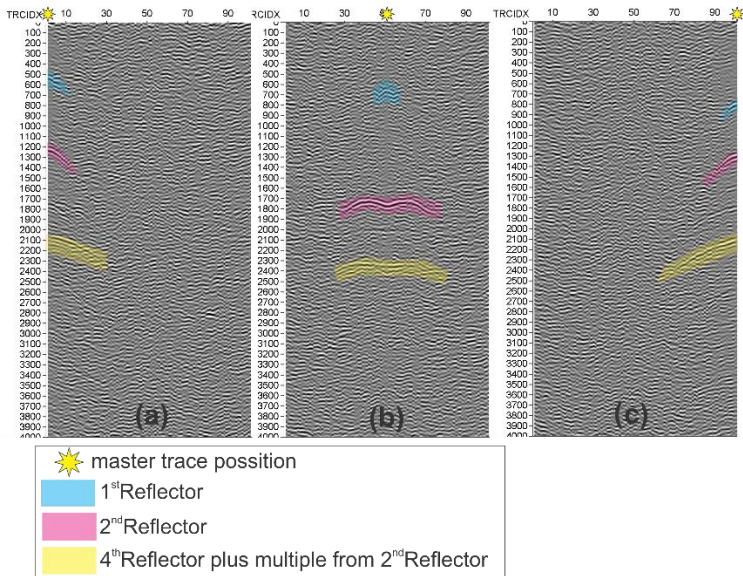


Gambar 4.10 Spektrum frekwensi data sintetik (refleksi).

Dari penampang spektrum (Gambar 4.10) diketahui bahwa *cut off* frekwensi berada pada 30 Hz. Hal ini dikarenakan pemodelan sintetik memang dilakukan pada rentang frekwensi *random noise* pada  $0 < 30$  Hz.

#### 4.2.2 Pengolahan Data Seismik Interferometri (Refleksi)

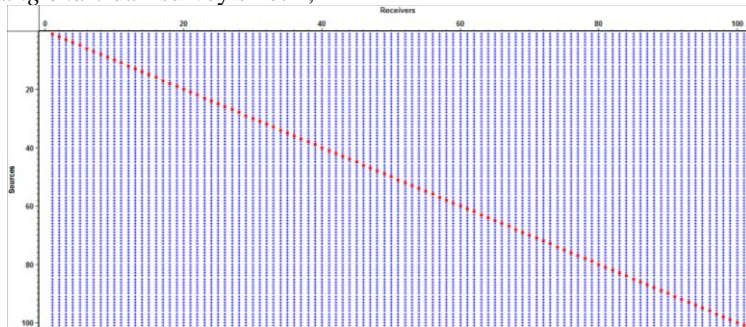
*Virtual source* dibuat pada semua *trace*. Jadi geometri *zero offset source* berjumlah sama dengan jumlah *recheiver*. Untuk *time virtual source* yang diolah dan diamati adalah hingga 4 s. Berikut ini adalah beberapa contoh hasil *cross-correlation*,



Gambar 4.11 *Virtual source* pada (a) *Geophone 1*, (b) *Geophone 51*, dan (c) *Geophone 101*.

Dari (Gambar 4.11) terlihat terdapat tiga *event* refleksi beserta satu *multiple* dari lapisan kedua dari model sedangkan refleksi dari reflektor ketiga (*low velocity*) tidak terlihat sama sekali. Pola refleksi pada penampang jika semakin menjauhi *master trace* maka semakin buram. Hal tersebut selain dikarenakan panjang bentangan letak *recheiver* juga disebabkan atenuasi beserta super posisi *noise* dimana semakin jauh maka semakin banyak juga *noise* lainnya yang mempengaruhinya.

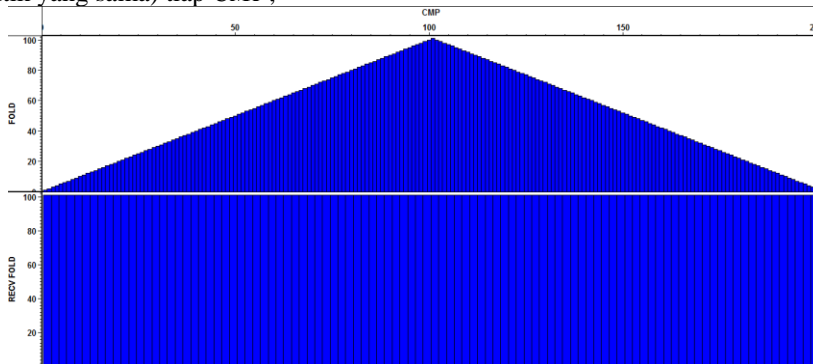
Tahapan pengolahan dilakukan sama dengan pengolahan data seismik aktif pada umumnya yaitu mulai dari *pre-processing* (*Edit geometry*, *muting*, dan *cutting*) hingga *post-processing* (*Band Pass Filtering*, *Deconvolution*, *NMO (Normal Move Out) correction*, dan *Migration*). Dibawah ini adalah *stacking chart* dari survey sinetik,



Gambar 4.12 *Stacking chart* dari survey sintetik.

Terdapat simbol pada (Gambar 4.12) yang mewakili posisi *recheiver* dan *shot*. Simbol (■) merupakan letak *source* atau dalam seismik interferometri adalah letak *master trace* dan (+) merupakan letak *recheiver* tiap penampang *virtual source*. Informasi lain yang didapat dalam *stacking chart* adalah geometri dari akuisisi dimana jika letak dan jumlah *recheiver* masih dalam batas *channel* yang sama maka dipastikan geometri dari survey adalah *fix station*(*recheiver* dalam posisi yang sama sedangkan *source* berpindah-pindah).

*CMP (Common Mid Point) Fold* didapatkan setelah penentuan geometri dari survey. Berikut ini adalah *fold* (jumlah gelombang yang melewati titik yang sama) tiap *CMP*,

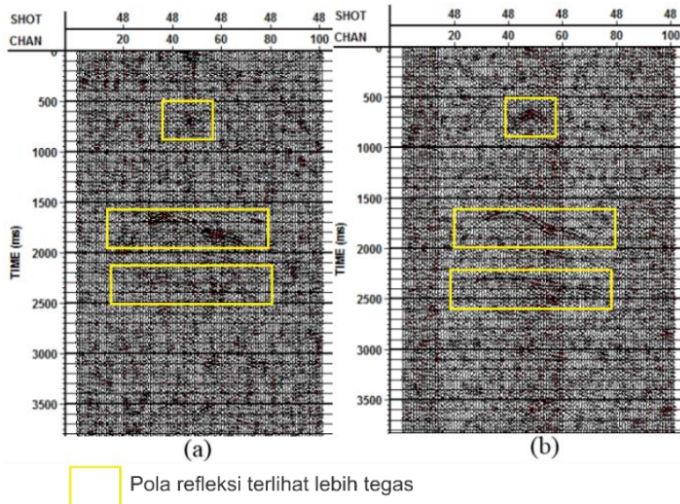


Gambar 4.13 *CMP Fold* (data sintetik).



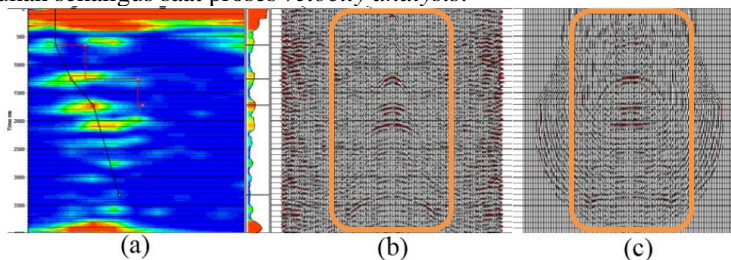
Sesuai dengan geometri dari survey sintetis, *CMP* semakin ketengah maka semakin tinggi *fold* hingga 101 (Gambar 4.13). Nilai *fold* menunjukkan jumlah *ray* yang melalui satu titik yaitu titik *CMP*

Koreksi *DMO* (*Dip Move Out*) digunakan untuk menghilangkan efek lapisan miring terhadap penjararan gelombang. Maksimum *dip* yang digunakan untuk *DMO* adalah 4ms/trace yang didapat dari pengamatan antara *virtual source* ke-1 dan ke-101.



Gambar 4.14 (a) Sebelum, dan (b) sesudah *DMO*.

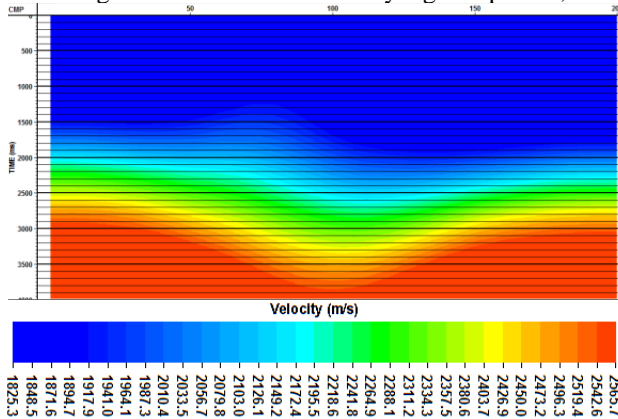
Pola refleksi lebih terlihat tegas setelah dilakukan *DMO* terlihat pada *virtual source* (Gambar 4.14 (b)). Koreksi *NMO* dilakukan setelah *DMO* yang dilakukan sekaligus saat proses *velocity analysis*.



Gambar 4.15 (a) Contoh *picking velocity-analysis*, (b) Sebelum koreksi *NMO*, dan (c) setelah koreksi *NMO* (pada data sintetis).

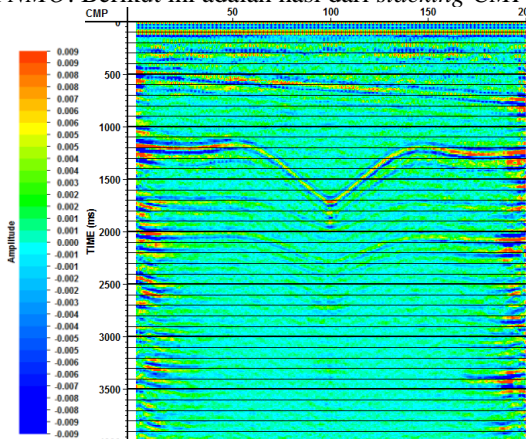
Setelah dilakukan koreksi *NMO* maka trace dalam satu *CMP* yang sama akan berubah dari bentuk hiperbolik (Gambar 4.15 (a)) menjadi datar (Gambar

4.15(b)) (karena efek pengurangan dari  $t_{NMO}$ ). *Velocity-analysis* dilakukan pada tiap interval *CMP* yang telah ditentukan (sesuai dengan kompleksivitas model). Pada kasus kali ini dari 200 *CMP* digunakan interval 5 *CMP* untuk dilakukan *picking velocity-analysis*. *Vrms* didapatkan setelah dilakukan *picking velocity-analysis* pada tiap *CMP*. *Vrms* inilah yang digunakan untuk migrasi dan *NMO* pada proses *stacking*. Berikut ini adalah *Vrms* yang didapatkan,



Gambar 4.16 *Vrms* hasil *picking* pada *velocity-analysis* (data sintetik).

*Stacking* tiap *CMP* (penjumlahan *trace* dalam *CMP* yang sama) dilakukan setelah koreksi *NMO*. Berikut ini adalah hasil dari *stacking CMP*,

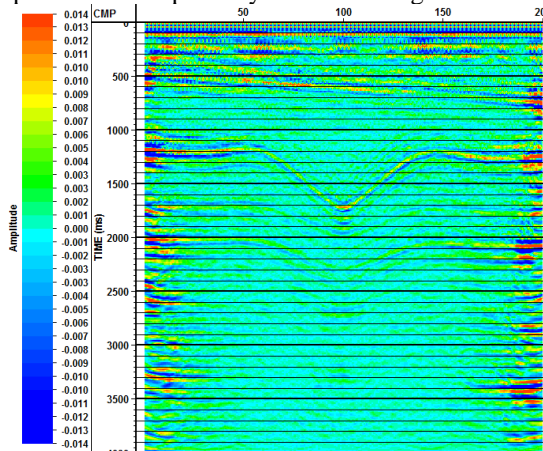


Gambar 4.17 Hasil *stacking* tiap *CMP* (data sintetik).

Hasil *stacking* (Gambar 4.17) merupakan penjumlahan *trace* pada *CMP* yang sama setelah dilakukan koreksi *NMO*. Akan tetapi hasil *stack* ini masih

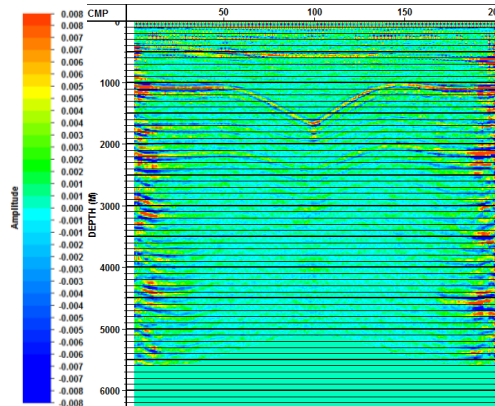
membutuhkan migrasi untuk menarik *event* refleksi pada posisi reflektor sebenarnya

$V_{rms}$  pada (Gambar 4.16) digunakan untuk migrasi (mengembalikan posisi gelombang pada reflektor sebenarnya dalam domain *time/depth*). *Kirchhoff Migration* digunakan untuk migrasi dalam domain *time*. Sedangkan untuk keluaran *depth* metode migrasi yang digunakan adalah *2D FK Migration*, karena lebih cepat dalam komputasinya dan hasil migrasi terlihat sudah baik.



Gambar 4.18 *Kirchhoff migration* (data sintetik)

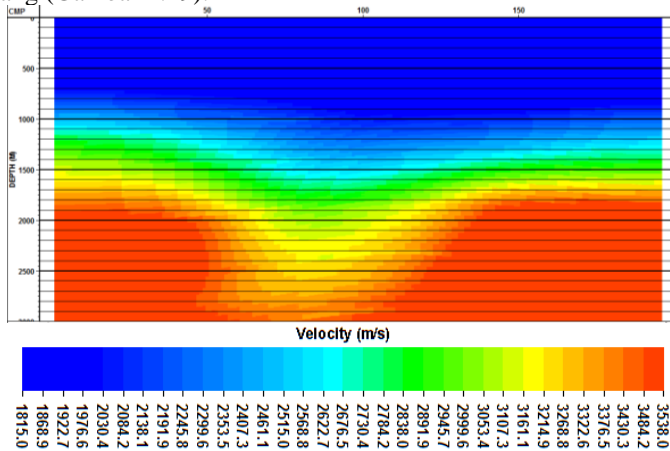
Dari (Gambar 4.18) didapatkan dua reflektor pertama yaitu pada 500-700 ms untuk lapisan pertama dan 1200-1800 ms untuk lapisan ke-2. Reflektor ke-3 dan 4 tidak nampak dalam hasil migrasi Kirchhoff.



Gambar 4.19 Hasil *FK Migration* (data sintetik).

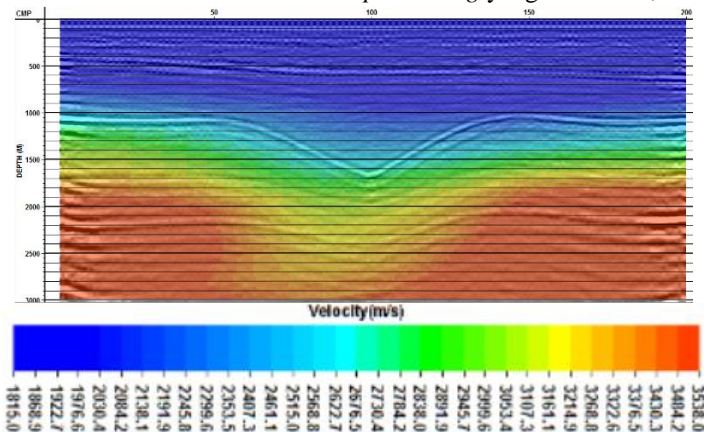
Hasil *FK Migration* (Gambar 4.19) inilah yang digunakan sebagai informasi reflektor bawah permukaan pada proses *overlay*.

*Image overlay* dilakukan dengan penampang *velocity* dalam *depth* (Gambar 4.20) dilakukan untuk mempermudah interpretasi dan analisa pada penampang (Gambar 4.19).



Gambar 4.20 *Velocity domain depth* (data sintetik)

*Velocity domain depth* (Gambar 4.20) didapatkan dari proses pengubahan *velocity interval* domain *time* hasil *picking velocity analysis* menjadi domain *depth*. Berikut ini adalah hasil akhir dari *processing* yang dilakukan,



Gambar 4.21 Hasil akhir *processing* (data sintetik)

(Gambar 4.21) memperlihatkan bahwa bentukan lapisan ke-2 dan ke-3 terlihat jelas tetapi dari lapisan *low velocity zone* kebawah tidak nampak sama sekali refleksi dari perlapisan tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa seismik interferometri memiliki kelemahan yang sama dengan seismik aktif terhadap *low velocity zone* yang mengakibatkan kontras impedan tinggi.

Variasi *velocity* yang didapatkan terdapat yang relatif lebih rendah maupun tinggi bila dibandingkan dengan model sintetik. Pada lapisan pertama cenderung meningkat hingga 300 m/s tetapi pada lapisan ke-2 terjadi penurunan hingga 500 m/s. Hal tersebut dikarenakan *virtual source* merupakan korelasi dari data yang memiliki posisi sumber dan frekwensi acak sehingga menghasilkan distorsi pada penampang yang didapatkan yang mengakibatkan *error* saat *picking velocity*.

### 4.3 Pengaruh *Traffic Noise* (*noise permukaan*) Terhadap *Virtual Source*

Pengambilan data pada lintasan Forensik ITS dilakukan tiga kali pengulangan dalam lintasan yang sama. Data ke-3 digunakan untuk pengolahan karena perekamannya saat kondisi sunyi jauh dari aktivitas kendaraan. Berikut ini adalah waktu dan kondisi *noise* pada ke tiga data tersebut,

Tabel 4.4 Kondisi saat perekaman seismik(Forensik ITS)

No	Data ke-	Waktu Perekaman(WIB)	<i>Traffic noise condition</i>
1.	1	00.09	Terdapat beberapa mobil lewat.
2.	2	00.12	Sunyi
3.	3	00.22	Sunyi

Kemudian dilakukan analisis perbedaan antara data ke-1 dengan data ke-3 untuk melihat pengaruh dari intensitas *traffic noise* terhadap *virtual source* yang didapatkan. Analisis dilakukan dengan cara kualitatif dan semi kualitatif (terdapat perhitungan matematis). Perhitungan dilakukan dengan menghitung selisih antara data ke-3 dengan data ke-1,

$$\Delta = |d2| - |d1| \quad (4.1)$$

Dengan,  $\Delta$  adalah perbedaan antara kedua penampang,  $d2$  adalah penampang dari data ke-3 dalam kondisi sunyi, dan  $d1$  adalah penampang data ke-1 dengan kondisi terdapat beberapa mobil melewati dekat area pengukuran.

Perhitungan rasio perubahan terhadap penampang data ke-3 dilakukan dengan persamaan berikut,

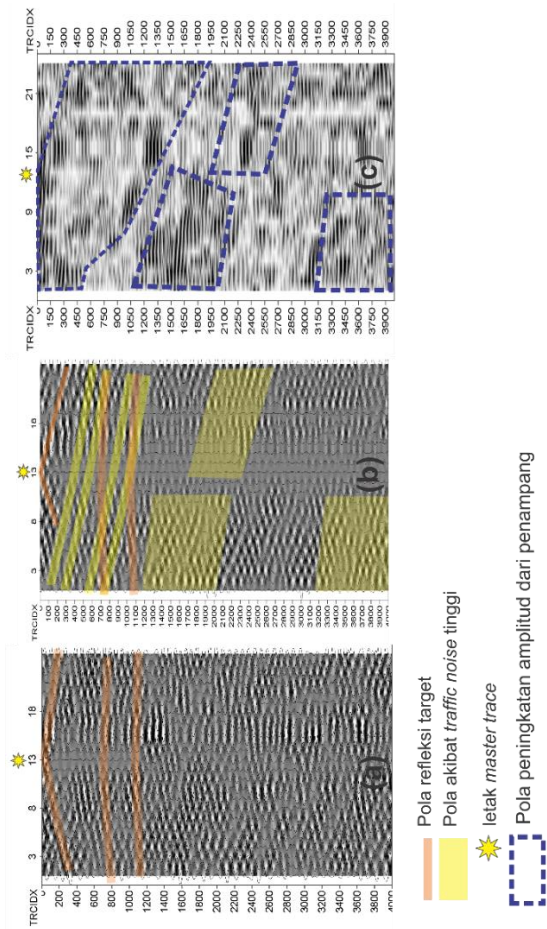
$$rasio \Delta = \frac{|d2|-|d1|}{|d2|} \quad (4.2)$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan persamaan

(4.1) dan persamaan

(4.2) maka dapat diketahui pola perbedaan pada penampang yang diakibatkan oleh kondisi yang berbeda (*traffic noise* yang berbeda). Rasio perubahan digunakan untuk mengetahui tingkat perbedaan keseluruhan dengan *range* ( $0 < rasio \Delta$ ).

Berikut ini adalah hasil analisis yang telah dilakukan dari kedua data tersebut,



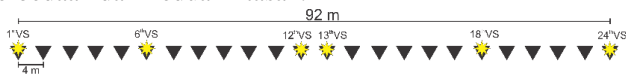
Gambar 4.22 Perbandingan *virtual source* Forensik ITS yang didapat pada kondisi *noise* yang berbeda.(a) Pada kondisi *low traffic noise* (data ke-3), (b) Pada kondisi *high traffic noise* (data ke-1). (c) Selisih antara penampang (a) dan (b).



Perbandingan antara penampang (a) dan (b), pada penampang (b) lebih terlihat pola dominan dari *traffic noise* permukaan yang diakibatkan kendaraan yang melintas. Pola gelombang *traffic noise* tersebut mengakibatkan tersuperposisi pola refleksi target pada penampang (b). Setelah dilakukan pengurangan antar kedua penampang terlihat peningkatan amplitudo dengan pola gelombang berasal dari posisi *traffic noise* yaitu berpola *dipping* ke kanan. Apabila dihitung rasio perubahan penampang dibagi dengan data ke-3 didapatkan 0.772 yang menandakan terjadi perubahan yang signifikan saat ada kendaraan yang melintas. Oleh karena itu lebih baik digunakan data dengan kondisi perekaman saat *noise* permukaan relatif rendah.

#### 4.4 Tomografi Seismik Interferometri Data Lapangan

Pengolahan dilakukan dengan cara yang sama seperti pada data sintetik. Semua parameter inversi dan geometri disamakan antar lintasan untuk dapat melihat perbedaan dari kedua lintasan.

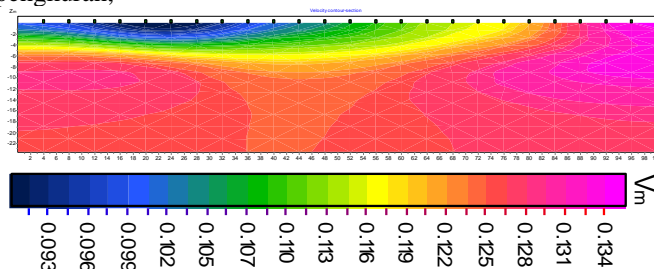


Gambar 4.23 Geometri *virtual source* yang digunakan dalam *picking surface wave*.

(Gambar 4.23) menunjukkan jumlah *virtual source* yang digunakan dalam inversi tomografi. Penentuan *virtual source* mempertimbangkan perbedaan yang terjadi pada *virtual source* berdekatan tidak berubah banyak, jadi digunakan spasi *virtual source* yang lebar.

##### 4.4.1 Hasil Inversi Tomografi Seismik Interferometri (Taman Alumni ITS dan Forensik ITS)

Berikut ini adalah hasil inversi tomografi dari seismik interferometri tiap lintasan pengukuran,

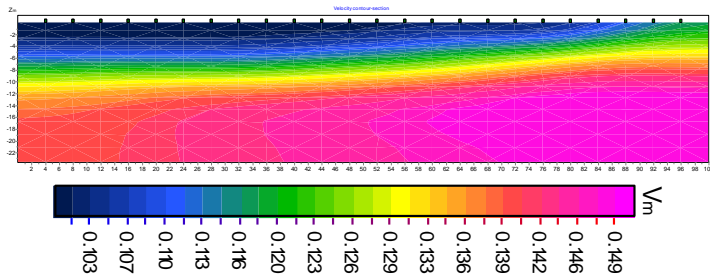


Gambar 4.24 Penampang  $V_p$  hasil inversi (data Taman Alumni ITS).



Tabel 4.5 Parameter Inversi (Interferometri Taman Alumni ITS).

<b><i>Inversion method</i></b>	Occam's
<b><i>RMS</i></b>	<0.011
<b><i>Smoothing factor</i></b>	1
<b><i>Depth smoothing</i></b>	0.5
<b><i>Focussing Parameters</i></b>	0.010
<b><i>Smoothness Ratio</i></b>	0.5



Gambar 4.25 Penampang  $V_p$  hasil inversi (data Forensik ITS).

Tabel 4.6 Parameter Inversi (Interferometri Forensik ITS).

<b><i>Inversion method</i></b>	Occam's
<b><i>RMS</i></b>	<0.023
<b><i>Smoothing factor</i></b>	1
<b><i>Depth smoothing</i></b>	0.5
<b><i>Focussing Parameters</i></b>	0.010
<b><i>Smoothness Ratio</i></b>	0.5

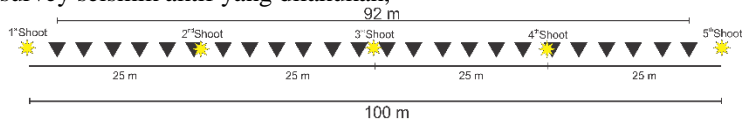
Dari kedua penampang  $V_p$  (Gambar 4.24) dan (Gambar 4.25) diketahui bahwa nilai  $V_p$  yang didapat tergolong rendah, jika diinterpretasikan langsung maka tergolong lapisan yang mengalami pelapukan yang sangat tinggi.

Tingkat kesulitan yang lebih tinggi saat *picking surface wave* terjadi pada data Taman Alumni ITS jika dibandingkan dengan Forensik ITS. Hal tersebut dikarenakan destruksi dari *traffic noise* yang dominan membuat rekonstruksi gelombang dari proses *cross-correlation* kurang jelas. Amplitudo dari *noise* permukaan yang besar juga dapat mengaburkan rekaman data refleksi bawah permukaan yang cenderung lebih lemah.

#### 4.4.2 Penampang $V_p$ Dari Regresi Logaritmik Aktif-Interferometri.

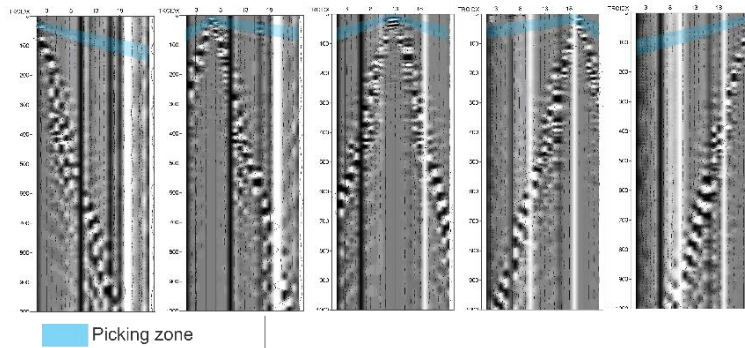
Sebagai validasi dan pembanding nilai  $V_p$  yang didapat, dilakukan survey seismik aktif pada lintasan kedua (Forensik ITS). *Shot* dilakukan pada

lima titik yang berbeda merata sepanjang lintasan. Berikut ini adalah geometri dari survey seismik aktif yang dilakukan,



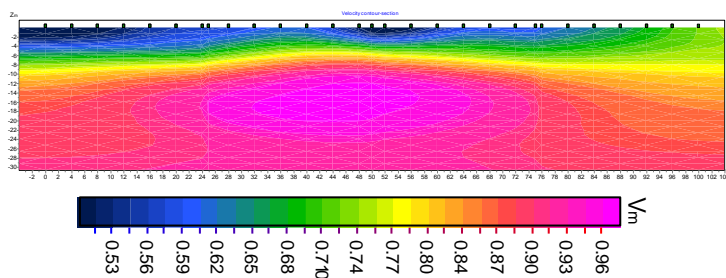
Gambar 4.26 Geometri survey seismik aktif (Forensik ITS).

Kemudian dilakukan pengolahan seismik refraksi pada data seismik aktif dan dilakukan inversi dengan parameter yang sama.



Gambar 4.27 Raw Data Record seismik aktif (Forensik ITS).

Data mentah tersebut (Gambar 4.27) memperlihatkan secara jelas fenomena refraksi yang terjadi dibawah 150 ms. Kemudian dilakukan *picking first break* untuk mendefinisikan pola refraksi gelombang untuk dilakukan inversi tomografi seismik refraksi. Berikut ini adalah hasil inversi pada data seismik aktif,



Gambar 4.28 Penampang  $V_p$  hasil inversi (data seismik aktif Forensik ITS).

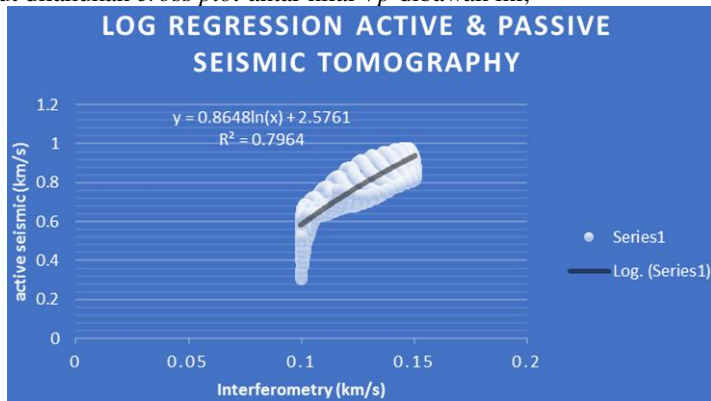
Penampang nilai  $V_p$  seismik aktif cenderung jauh lebih tinggi dibanding seismik interferometri dikarenakan perbedaan gelombang yang di *picking*

dimana seismik aktif di *picking* pada *body wave* sedangkan seismik interferometri pada *surface wave*.

Tabel 4.7 Parameter Inversi (Aktif seismik Forensik ITS).

<b><i>Inversion method</i></b>	Occam's
<b><i>RMS</i></b>	<0.015
<b><i>Smoothing factor</i></b>	1
<b><i>Depth smoothing</i></b>	0.5
<b><i>Focussing Parameters</i></b>	0.010
<b><i>Smoothness Ratio</i></b>	0.5

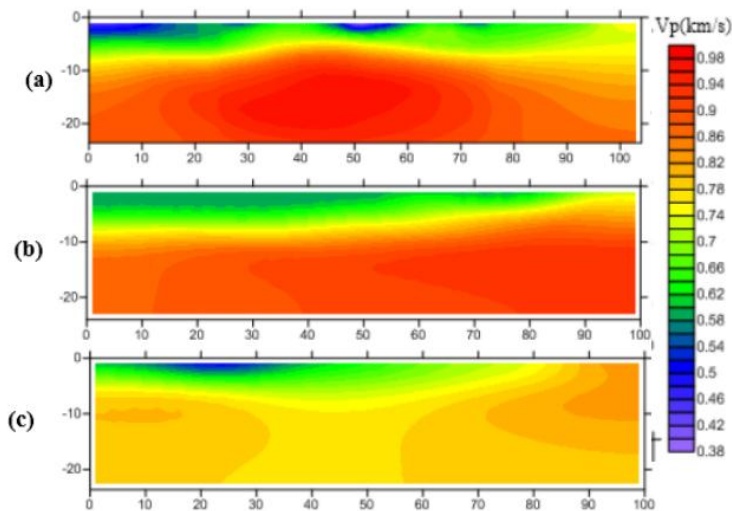
Bila diamati secara umum bentuk dari model hasil inversi antara seismik aktif dan interferometri memiliki kemiripan. Untuk melihat kemiripan tersebut dilakukan *cross plot* antar nilai  $V_p$  dibawah ini,



Gambar 4.29 *Cross plot* dan regresi logaritmik nilai  $V_p$  aktif -  $V_p$  interferometri.

Dari *cross plot* (Gambar 4.29) diketahui bahwa nilai  $V_p$  seismik interferometri memiliki bentuk penampang yang mirip pada  $V_p$  diatas 0.1 km/s dengan bentuk kurva logaritmik berkoefisien ( $R^2 = 0.7964$ ). Koefisien  $R^2$  tersebut menandakan terdapat kemiripan bentuk geometri distribusi nilai  $V_p$ . Penarikan nilai  $V_p$  seismik interferometri dilakukan untuk mempermudah dalam interpretasi nilai  $V_p$  dengan perhitungan statistik menggunakan kurva regresi logaritmik yang didapat.

Perhitungan  $V_p$  dilakukan pada semua penampang  $V_p$  interferometri baik Taman Alumni ITS dan Forensik ITS. Setelah dilakukan perhitungan regresi diharapkan interpretasi perlapisan menjadi lebih mudah.



Gambar 4.30 (a)Penampang  $V_p$  Forensik ITS (aktif) ,(b)Forensik ITS (interferometri) hasil Regresi Logaritmik, dan (c)Taman Alumni ITS (interferometri) hasil Regresi Logaritmik.

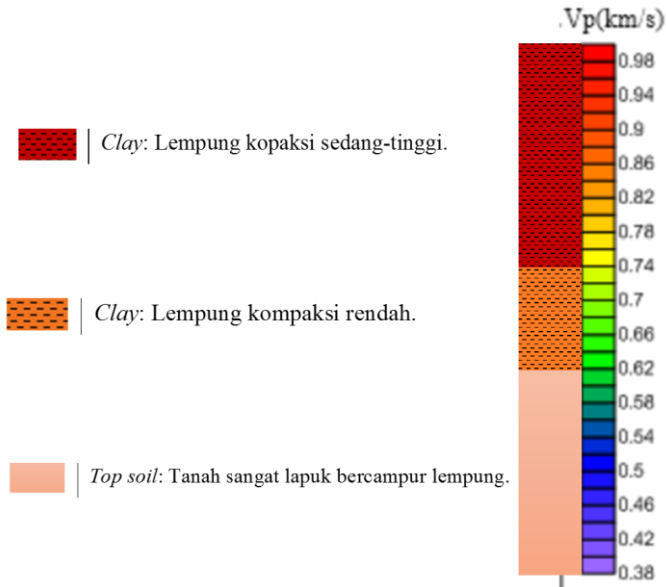
Pada (Gambar 4.30) terlihat nilai  $V_p$  antara seismik aktif dan interferometri sudah saling mendekati. Penampang  $V_p$  Taman Alumni ITS cenderung lebih rendah dibandingkan  $V_p$  Forensik ITS.

Kondisi Taman Alumni ITS pada saat pengukuran terlihat basah dan tergenang air hujan. Kondisi tersebut dapat mengakibatkan peredaman yang lebih tinggi karena karakter *top soil* yang didominasi lempung bila terkena air akan menjadi lebih lunak.

#### 4.4.3 Interpretasi Penampang $V_p$

Interpretasi dilakukan pada penampang  $V_p$  hasil regresi (Gambar 4.30). Interpretasi kualitatif dilakukan dengan memanfaatkan informasi dari data tabel nilai  $V_p$  (Gambar 2.12). Dikarenakan terdapat nilai rentang nilai  $V_p$  yang saling tumpang tindih maka diperlukan pemahaman geologi regional. Apabila ditinjau lebih rinci litologi Alluvium memiliki jenis batuan yaitu kerakal, lempung, lanau, dan pasir (Supandjono, et al. 1992). Jadi batuan yang memungkinkan hanya batuan tersebut.

Setelah jenis batuan diketahui dilakukan interpretasi rentang nilai dan jenis batumannya sebagai berikut,



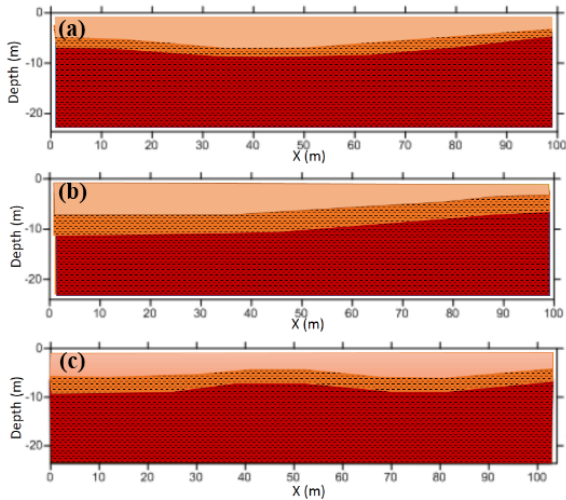
Gambar 4.31 Interpretasi Rentang Nilai  $V_p$ .

Dari hasil inversi dengan kedalaman  $< 25$  m diprediksi masih berada pada litologi yang sama (Alluvium) belum menembus ke Formasi Kabuh maupun Formasi Lidah (Jika memiliki kemenerusan hingga lokasi pengambilan data). Jadi jenis batuan yang dijadikan acuan ada dalam Alluvium yang didominasi lempung.

Penentuan batas pada (Gambar 4.31)  $V_p$  rendah 0.38-0.62 km/s berdasarkan tabel nilai  $V_p$  (Gambar 2.12) diinterpretasikan sebagai lapisan tanah lapuk. Hal tersebut didukung dengan kenampakan permukaan yang mengalami retak-retak kecil merata dan dalam kondisi basah bekas terkena hujan.  $V_p$  sedang 0.62-0.74 km/s diinterpretasikan sebagai lempung (masih dalam aluvium) dengan kompaksi yang rendah. Disusul dengan  $V_p > 0.74$  km/s diinterpretasikan sebagai lempung dengan kompaksi sedang hingga tinggi seiring meningkatnya kedalaman.

Kemudian semua penampang tiap lintasan dilakukan penentuan batas perlapisan dari intepretai rentang nilai  $V_p$  yang telah dibuat (Gambar 4.31).

Berikut ini adalah hasil interpretasi penampang nilai  $V_p$ ,



Gambar 4.32 Model hasil interpretasi penampang  $V_p$  (a) (Interferometri) Taman Alumni ITS, (b) (Interferometri) Forensik ITS, (c) (Aktif) Forensik ITS.

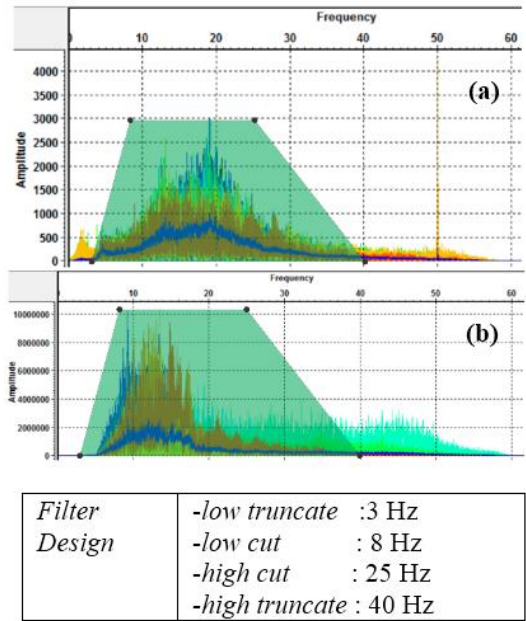
Dari model (Gambar 4.32) dapat dilihat bahwa tebal *top soil* memiliki variasi antara 3 m - 8 m. Kemudian tebal *clay* (kompaksi rendah) dari 1.5 m – 2 m. kemudian lapisan selanjutnya didominasi oleh *clay* dengan kompaksi sedang hingga tinggi. Untuk model pada Forensik ITS memiliki kompaksi lapisan *clay* yang sedikit lebih tinggi dibandingkan pada Taman Alumni ITS (dilihat dari nilai  $V_p$ ). Tingkat kompaksi diprediksi secara kualitatif dimana semakin tinggi nilai  $V_p$  maka densitas semakin tinggi (peningkatan densitas diasumsikan dengan peningkatan kompaksi).

#### 4.5 Interpretasi Penampang Seismik Refleksi Interferometri Data Lapangan

Geometri survey dari seismik interferometri yang dilakukan adalah *fix array* dan *zero offset*. Jadi terdapat 24-*receiver* dan 24-*shoot* pada tiap geometri lintasan pengukuran. Jika data dalam kondisi ideal grafik *CMP Fold* berdentuk segitiga sama kaki dalam artian semakin mendekati ujung *CMP* semakin sedikit *ray* yang melewatinya.

*Filtering* dilakukan tidak terlalu intens untuk mencegah hilangnya informasi yang dibutuhkan dikarenakan seismik interferometri itu sendiri memanfaatkan *ambient noise*. Hal tersebut mengakibatkan karakter frekwensi informasi refleksi menyerupai frekwensi *noise* yang tidak digunakan. Desain

*band pass filter (Ormsby)* dibuat sama pada semua lintasan agar dapat melihat perbedaan karakter penampang refleksi terhadap intensitas *traffic noise*.

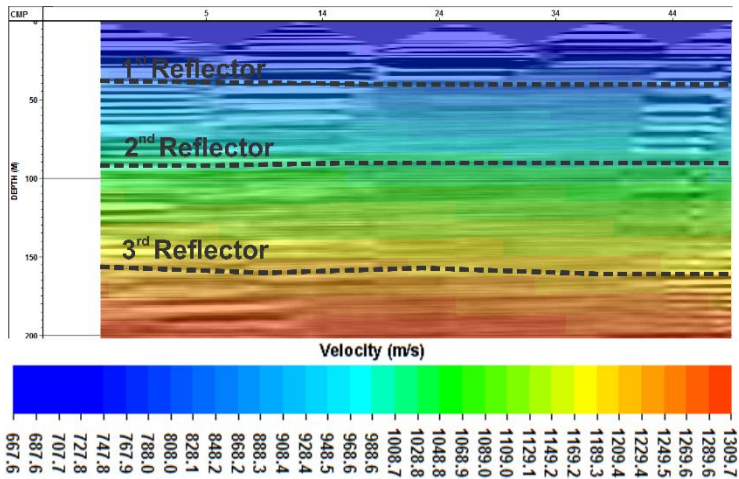


Gambar 4.33 Desain Band Pass Filter (a) Taman Alumni ITS dan (b) Forensik ITS.

Pada (Gambar 4.33) desain *window* untuk filter memotong selain frekwensi 3 Hz hingga 40 Hz. Proses *Band Pass Filter* tersebut diaplikasikan sebelum *stacking CMP*.

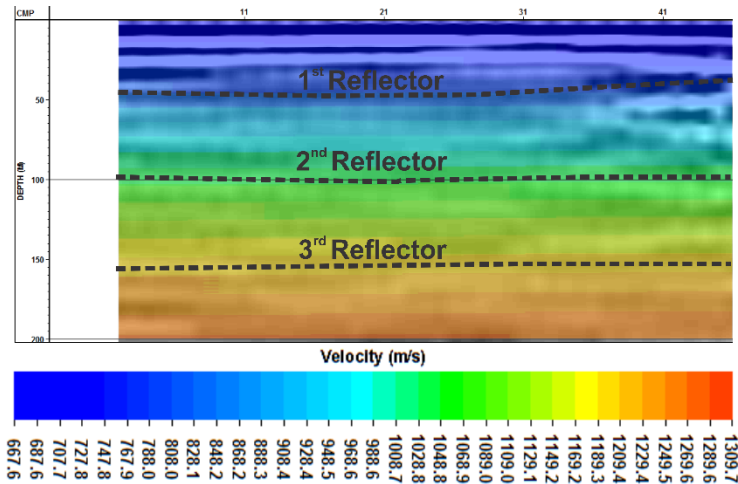
Teknik *time migration* yang digunakan adalah *FK Migration* dalam *depth* untuk mempermudah dalam interpretasi. Sebagai tambahan informasi dalam interpretasi dilakukan *overlay velocity* pada penampang refleksi hasil migrasi.

Interpretasi seismik refleksi interferometri dilakukan sebatas pada deliniasi reflektor karena tidak adanya dukungan data bor untuk identifikasi jenis batuan pada perlapisan yang relatif dalam. Nilai kontras dari *Vp* dijadikan salah satu acuan dalam deliniasi batas perlapisan kemudian didukung dengan penampang refleksi. Deliniasi lebih dibobotkan ke kontras *Vp* dikarenakan kualitas dalam penampang refleksi relatif masih kurang baik dibandingkan seismik aktif.



Gambar 4.34 Interpretasi penampang seismik refleksi Forensik ITS (Aktif).

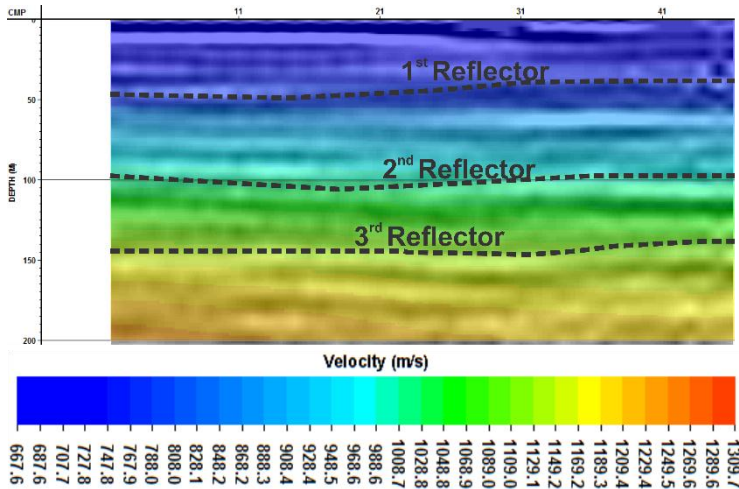
Jumlah *CMP* pada penampang seismik aktif Forensik ITS sangat rendah. Tentunya hal tersebut mengakibatkan variasi lateral cenderung buruk tetapi untuk resolusi vertikal masih lebih baik jika dibandingkan dengan seismik refleksi interferometri.



Gambar 4.35 Interpretasi penampang seismik refleksi interferometri Forensik ITS.



Penampang pada seismik aktif (Gambar 4.34) terlihat lebih tegas menunjukkan batas perlapisan dibandingkan penampang seismik interferometri (Gambar 4.35).

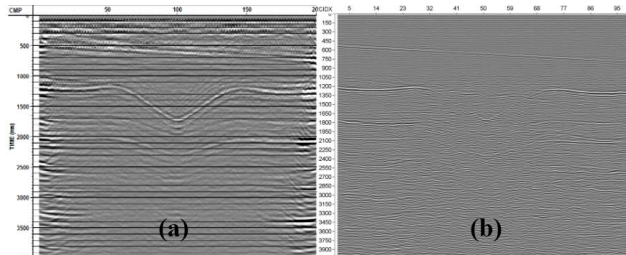


Gambar 4.36 Interpretasi penampang seismik refleksi interferometri Taman Alumni ITS.

Pada interpretasi lintasan Taman Alumni ITS (Gambar 4.35) dan Forensik ITS (Gambar 4.36) terlihat bahwa kedua lokasi ini memiliki tebal lapisan (reflektor) yang tidak berbeda jauh antara 40 m – 50 m. Penampang yang didapatkan memiliki kedalaman hingga 200 m, hal ini memungkinkan digunakannya seismik refleksi interferometri untuk studi kasus melihat struktur dalam (hingga *range* studi formasi).

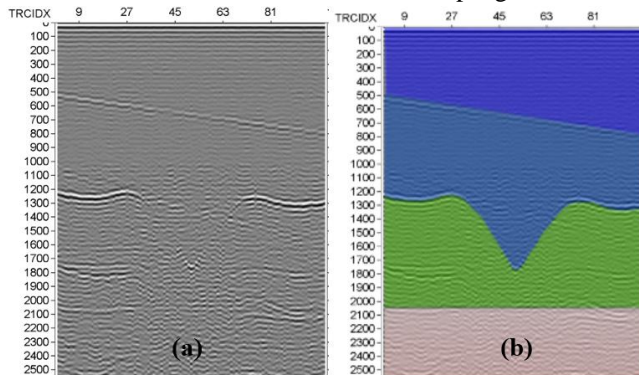
## 4.6 Penampang Autokorelasi Seismik Interferometri

Dilakukan uji coba perbandingan penampang autokorelasi dengan penampang Kirchhoff *Migration* untuk melihat kemiripannya dimana keduanya dalam *time*.



Gambar 4.37 (a) Kirchhoff *Migration*, (b) *Autocorrelation*.

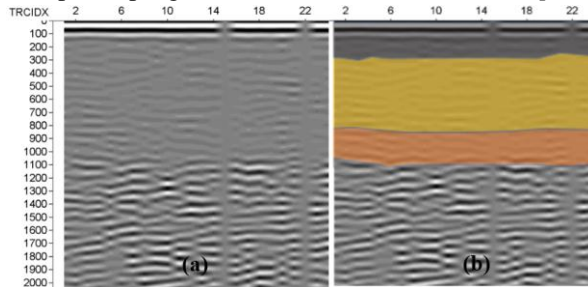
Dari kedua penampang (Gambar 4.37) diketahui bahwa penampang Autokorelasi mendekati bentuk refleksi dari hasil migrasi Kirchhoff. Berikut ini adalah deliniasi reflektor dari data sintetik dan lapangan,



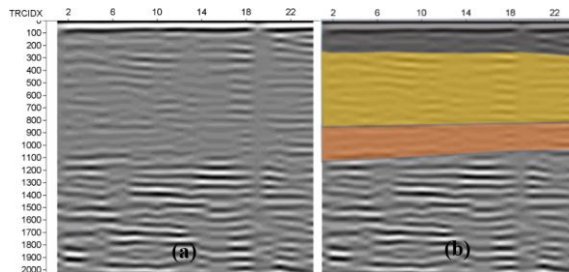
Gambar 4.38 (a) Penampang Autokorelasi dan (b) Deliniasi bidang pantul Data Sintetik.

Penampang Autokorelasi (Gambar 4.38) memiliki kekurangan yaitu tidak diketahuinya informasi *velocity*. Jadi hanya bisa diketahui jumlah dan bentuk reflektor dalam domain *time* danpa mendefinisikan jenis batuanannya. Batas bawah model perlapisan ketiga (hijau) terlihat sebagai reflektor tipis. Dimana hal tersebut tidak terlihat pada penampang migrasi Kircchhoff (Gambar 4.37 (b)). Metoda Autokorelasi ini masih membutuhkan metoda lain yang dapat

mengestimasi nilai *velocity* dalam domain *time* untuk digunakan sebagai alat bantu mengubah penampang Autokorelasi kedalam domain *depth*.



Gambar 4.39 (a) Penampang Autokorelasi, dan (b) Deliniasi bidang pantul Data Taman Alumni ITS.



Gambar 4.40 (a) Penampang Autokorelasi, dan (b) Deliniasi bidang pantul Data Forensik ITS.

Deliniasi dari reflektor cenderung lebih tegas di lintasan Forensik ITS (Gambar 4.40) dibanding Taman Alumni ITS (Gambar 4.39). Oleh karena itu dalam akusisi data seismik interferometri perlu diperhatikan kondisi *noise* yang berasal dari permukaan semakin sedikit *noise* permukaan semakin baik kualitas data yang didapatkan. Dari kedua lintasan (Gambar 4.39, dan Gambar 4.40), reflektor pertama terletak pada 200-300 ms, reflektor kedua pada 700-900 ms, dan reflektor ketiga pada 1000-1100 ms.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan berikut:

1. Validasi pada pengolahan data sintetik seismik interferometri:
  - a. Perbandingan hasil dan model seismik tomografi interferometri:
    - Nilai  $V_p$  yang didapat cenderung lebih tinggi dari pada model, meningkat antara 500 m/s hingga 700 m/s.
    - Bentuk yang didapatkan dari inversi tomografi menghasilkan model menyerupai model yang dibuat tetapi batas perlapisan kurang tegas.
  - b. Perbandingan hasil dan model seismik refleksi interferometri:
    - Penampang hasil seismik refleksi interferometri memiliki letak reflektor (1 dan 2) sama dengan model sintetik yang dibuat.
    - Refleksi dari *Low velocity zone* tidak terlihat.
    - Nilai  $V_p$  dari seismik refleksi interferometri cenderung berbeda hingga 500 m/s dari model awal.
2. Kualitas *virtual source* lebih baik pada kondisi *low traffic* (rasio perubahan=0.772) dengan indikasi kemenerusan *event* refleksi dan berkurangnya superposisi *noise* dominan.
3. Interpretasi bawah permukaan:
  - a. Interpretasi dilakukan menggunakan regresi logaritmik penampang  $V_p$  dengan nilai pendekatan  $R\text{-Square}= 0.7964$ .
  - b. Kedua lintasan memiliki prediksi perlapisan berikut:
    - Lapisan pertama adalah *Top soil* 3 m - 8 m.
    - Lapisan kedua adalah *Clay* kompaksi rendah 1.5 m – 2 m.
    - Lapisan terakhir adalah *Clay* kompaksi sedang-tinggi.
    - Terdapat tiga reflektor pada kedua lintasan dalam 150 m dengan tebal tiap lapisan antara 40-50 m.

### 5.2 Saran

Saran untuk penelitian lanjutan yang dapat dilakukan oleh geofisikawan dengan lingkup tema penelitian ini adalah:

1. Diperlukan upaya peningkatan kualitas *virtual source* dengan menambah durasi perekaman dan metoda rekonstruksi *Green's function* lainnya seperti *cross-coherence* dan *deconvolution*.

2. Uji pengolahan data sintetik seismik interferometri dengan sumber *noise* dangkal dengan model yang sama untuk mengetahui respon karakter penampang terhadap distribusi *noise*.
3. Penggunaan *virtual source* untuk meningkatkan *event refleksi* pada seismik aktif, misalnya pada kasus geologi kompleks maupun lingkungan vulkanik.
4. Uji metoda autokorelasi seismik interferometri pada data *microseismic* kemudian dilakukan migrasi dengan memanfaatkan *velocity* hasil inversi 1D HVSr.

## DAFTAR PUSTAKA

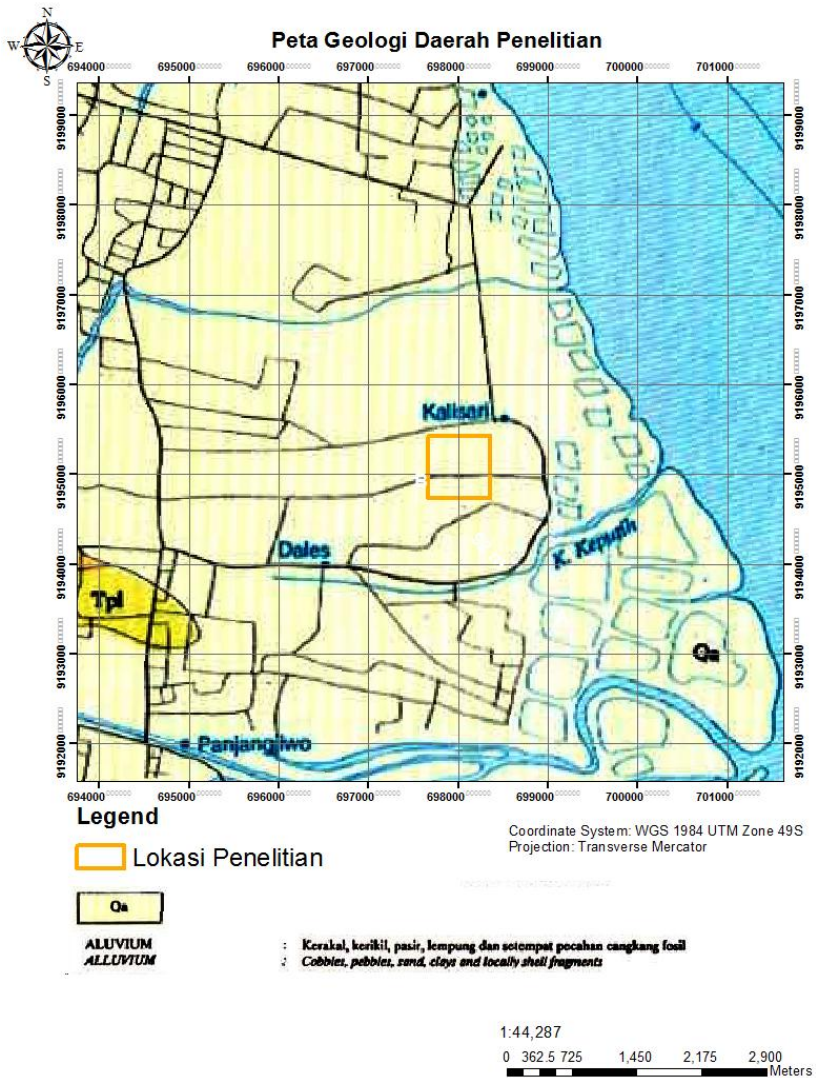
- Bakulin, A, et al. "Virtual source applications to imaging and reservoir monitoring." *THE LEADING EDGE*, 2007.
- "Bing satellite view." *Bing satellite view*. Bing, 10 4 2017.
- Bormann, Peter, dan Erhard Wielandt. *Seismic Signals and Noise*. Postdam: GFZ, 2013.
- Claerbout, J F. "Synthesis of a layered medium from its acoustic transmission response." *GEOPHYSICS*, 1968: 264–269.
- Draganov, Deyan, Kees Wapenaar, Wim Mulder, Johannes Singer, dan Arie Verdel. "Retrieval of reflections from seismic background-noise measurements." *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 34,, 2007.
- Hanafy, Sherif M, dan Gerard T Schuster. "Target-oriented interferometric tomography for GPR data." *Seismic Interferometry:History and Present Status*, 2008: 614-619.
- Lauterborn, W. *Coherent optics*. Berlin: Springer Verlag, 1993.
- Milsom, John, dan Asger Eriksen. *Field Geophysics*. West Sussex: John Wiley & Son, 2011.
- Nakata, N, Roel Snieder, Takeshi Tsuji, Ken Larner, dan Toshifumi Matsuoka. "Shear wave imaging from traffic noise using seismic interferometry by cross-coherence." *GEOPHYSICS*. VOL. 76, NO. 6, 2011: 97–106.
- Nakata, Norimitsu, Roel Snieder, Takeshi Tsuji, Ken Larner, dan Toshifumi Matsuoka. "Shear wave imaging from traffic noise using seismic." *GEOPHYSICS*, 2011: 97-106.
- Schuster, G T. "Theory of daylight/interferometric imaging: Tutorial." *63rd Annual Conference and Exhibition*. Amsterdam: EAGE, 2001.
- Sheriff, R E, dan L P Geldart. *Exploration Seismology Second Edition*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

- Supandjono, J B, K Hasan, H Pangabea, D Satria, dan Sukardi. *Peta Geologi Lembar Surabaya & Sapulu-Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1992.
- Telford, W M, L P Geldart, dan R E Sheriff. *Applied Geophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press, 1990.
- Thorbecke, Jan. *2D Finite-Difference Wavefield Modelling*. 17 March 2016.
- Thorbecke, Jan W, dan Draganov Deyan. "Finite-difference modeling experiments for seismic interferometry." *GEOPHYSICS VOL. 76*, 2011.
- Vasconcelous, Ivan, dan Roel Snieder. *Interferometry by deconvolution, Part II: Application*. Colorado: Colorado School of Mines, 2008.
- Wapenaar, K, D Draganov, R Snieder, X Campman, dan A Verdel. *Tutorial on seismic interferometry. Part I: Basic*. Delft: Delft University of Technology, t.thn.
- Young, Ch J, E P Chael, M W Withers, dan R C Aster. "A comparison of the high- frequency ( $>1\text{Hz}$ ) surface and subsurface noise environment at three sites in the United States." *Bull. Seism. Soc. Am.*, 1996: 1516-1528.
- Zhao, Yang. *Passive seismic interferometry in the real world: Application with microseismic and traffic noise*. Berkeley: University of California, 2013.



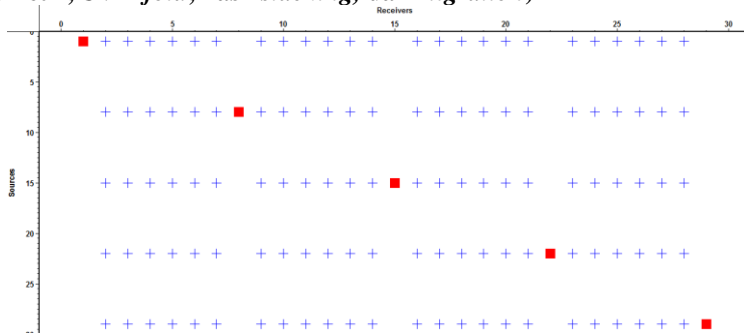
## LAMPIRAN

### (Peta Geologi)

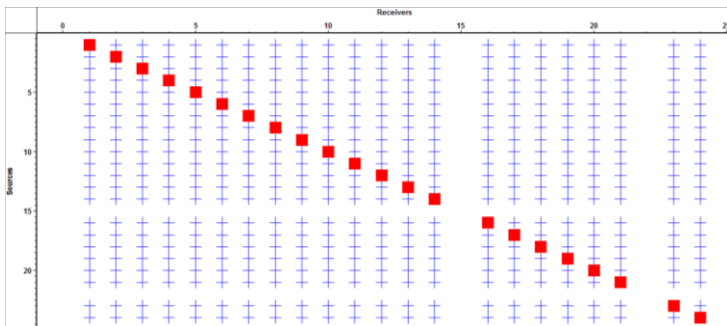


Gambar 1 Peta Geologi Regional Surabaya (Supandjono, Hasan, Pangabean, Satria, & Sukardi, 1992).

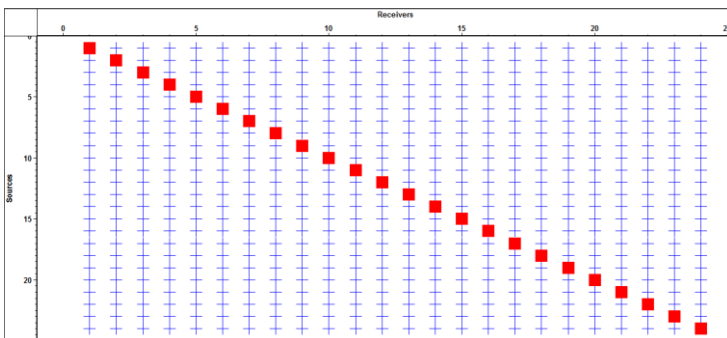
(Geometri, *CMP fold*, hasil *stacking*, dan *migration*)



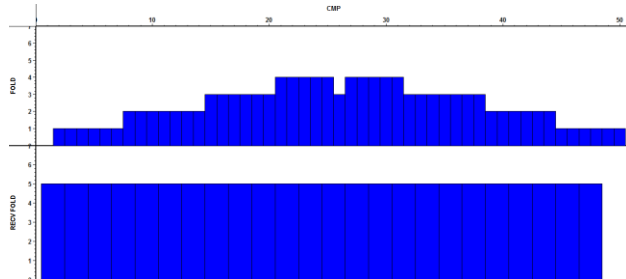
Gambar 2 Stacking Chart Seismik Aktif (Forensik ITS).



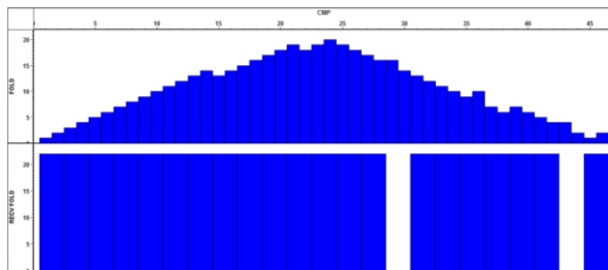
Gambar 3 Stacking chart seismik interferometri (Taman Alumni ITS).



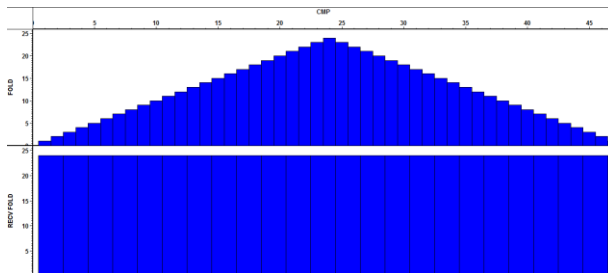
Gambar 4 Stacking chart seismik interferometri (Forensik ITS).



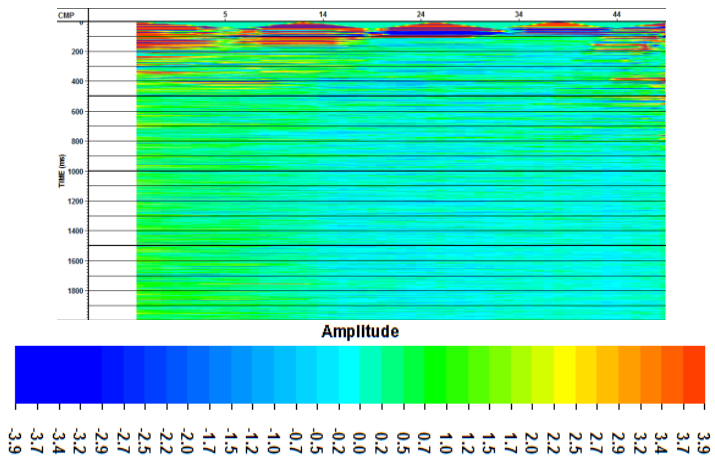
Gambar 5 CMP Fold Seismik Aktif(Forensik ITS).



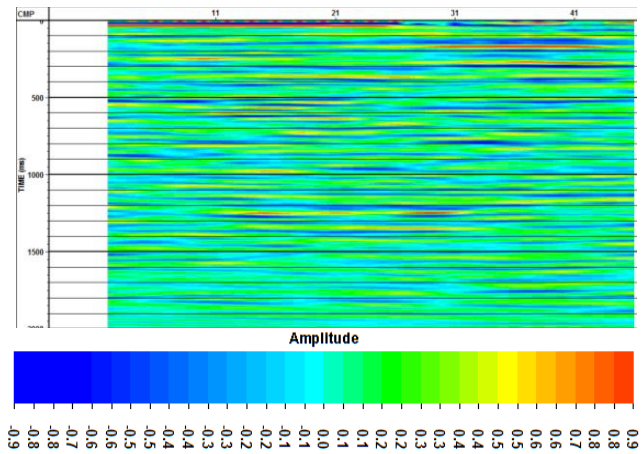
Gambar 6 CMP Fold (Taman Alumni ITS).



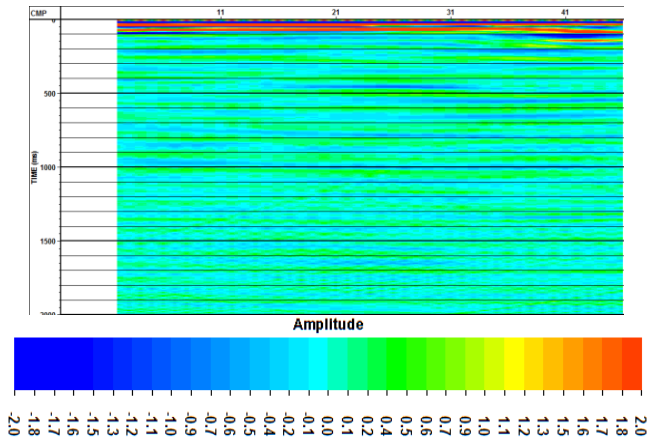
Gambar 7 CMP Fold (Forensik ITS).



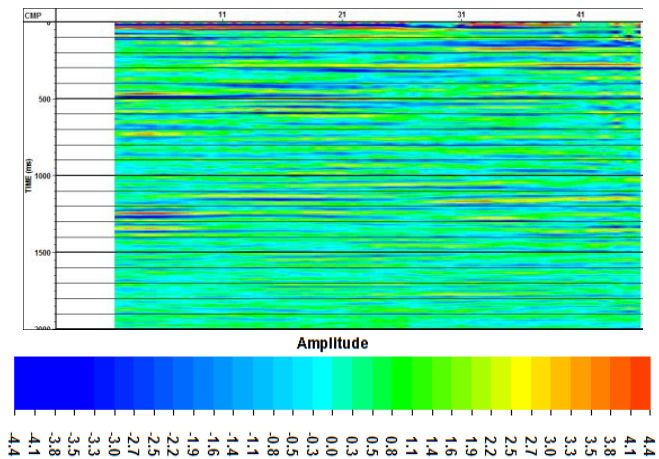
Gambar 8 Stack Seismik Aktif (Forensik ITS).



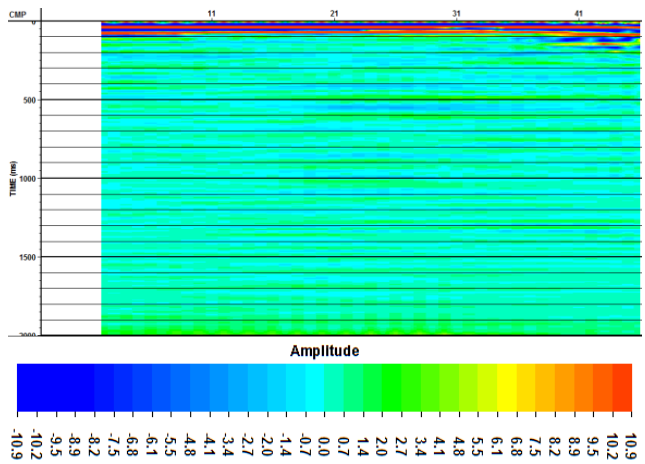
Gambar 9 Stack CMP (Taman Alumni ITS).



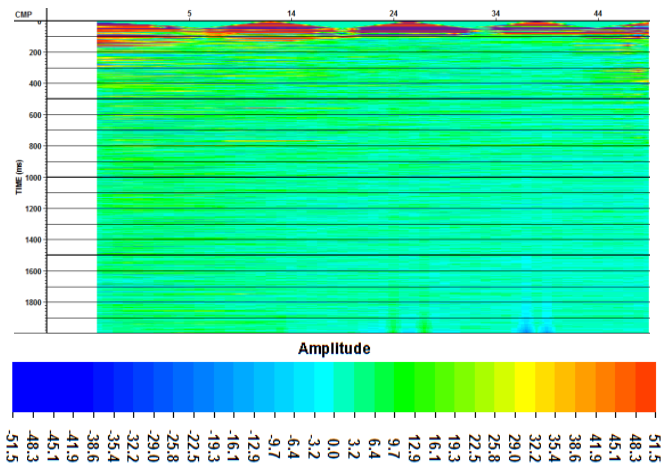
Gambar 10 Stack CMP (Forensik ITS).



Gambar 11 Migrasi Kirchhoff (Taman Alumni ITS)



Gambar 12 Migrasi Kirchhoff (Forensik ITS)



Gambar 13 Migrasi Kirchhoff (Aktif Seismik Forensik ITS)

## BIODATA PENULIS



Nur Rochman Muhammad lahir di Ponorogo pada 16 Mei 1994. Penulis menempuh pendidikan di MI Kresna Mlilir (2001-2007), SMP IT Rahmatan Lil Alamin Ponorogo (2007-2010), dan SMAN 1 Geger Madiun (2010-2013). Penulis melanjutkan studinya di Departemen Teknik Geofisika ITS. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan maupun keilmuan diantaranya adalah Kepala Divisi Inovasi Dan Teknologi Departemen Riset Dan Teknologi HMTG ITS, Koordinator Asisten Praktikum Elektronika Dasar. Ketua Asisten Laboratorium Geofisika Teknik Dan Lingkungan (2015/2017). Penulis yang juga pernah menjadi ketua acara “Kuliah Lapangan Terpadu 2016 -Wringinanom Mud Volcano” memiliki beberapa karya tulis ilmiah yaitu *“Mode and Orientation Comparison of Magnetotelluric Data Inversion for Structures Identification Volcanic Area: A Study Case-Mt. Tangkuban Parahu.”* dalam event *“ITB International Geothermal Workshop 2016”* dimana karya ini merupakan hasil penelitian dari Kerja Praktek di PT. Tangkuban Parahu Geothermal Power Indonesia, kemudian *“Analisa Struktur Regional Penyebab Gempa dan Tsunami berdasarkan anomali gravitasi dan dinamika lempeng.”* yang menjadi juara 1 poster pada *HMTG Innovation Challenge 2017*, *“Subsurface Image Comparison Between Active Seismic Data and Interferometry Seismic for A Mud Volcano Case in Wringinanom, East Java.”* dalam event *“Indonesian Petroleum Association Convention & Exhibition 2017”* juga menjadi *best student paper poster* dalam event tersebut. Penghargaan lain yang pernah di capai adalah Juara 3 *“MEGATHRUST 2016- Mitigation of Earth Disaster Through Student Competition”*. Penulis memiliki minat pada kasus *sub-surface critical imaging* pada metoda eksplorasi geofisika. Bila anda ingin kerjasama atau berdiskusi tentang hal apapun terkait Tugas Akhir ini maupun bidang ilmu kebumihan lainnya silahkan menghubungi penulis via email [nurrochmanmuhammad@gmail.com](mailto:nurrochmanmuhammad@gmail.com).